



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - EE 184801

PERENCANAAN PEMASANGAN FILTER UNTUK MENGURANGI HARMONISA PADA SISTEM JARINGAN KELISTRIKAN DC BACKBONE 500 KV KALIMANTAN

Azhaqqi Yakhya
NRP 07111440000031

Dosen Pembimbing
Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D.
Ir. Sjamsjul Anam, MT.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - EE 184801

PLANNING OF FILTER INSTALLATION TO REDUCE HARMONICS ON KALIMANTAN'S BACKBONE 500 KV DC ELECTRICITY SYSTEM

Azhaqqi Yakhya
NRP 07111440000031

Supervisors
Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D.
Ir. Sjamsjul Anam, MT.

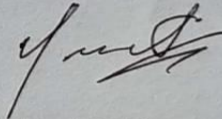
DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Electrical Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Tugas akhir saya dengan judul **“PERENCANAAN PEMASANGAN FILTER UNTUK MENGURANGI HARMONISA PADA SISTEM JARINGAN KELISTRIKAN DC BACKBONE 500 KV KALIMANTAN”** adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Januari 2019



Azhaqqi Yakhya
0711144000031

Halaman ini sengaja dikosongkan

**PERENCANAAN PEMASANGAN FILTER UNTUK
MENGURANGI HARMONISA PADA SISTEM
KELISTRIKAN DC BACKBONE 500 KV
KALIMANTAN**

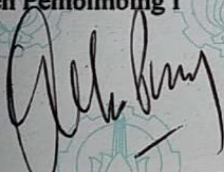
TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada**

**Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

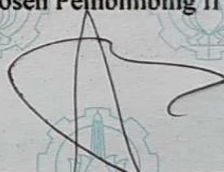
Menyetujui :

Dosen Pembimbing I



Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D.
NIP. 194907151974121001

Dosen Pembimbing II



Ir. Samsjul Anam, MT.
NIP. 196307251990031002



Halaman ini sengaja dikosongkan

PERENCANAAN PEMASANGAN FILTER UNTUK MENGURANGI HARMONISA PADA SISTEM KELISTRIKAN DC BACKBONE 500 KV KALIMANTAN

Nama mahasiswa : Azhaqqi Yakhya
Dosen Pembimbing I : Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D.
Dosen Pembimbing II : Ir. Sjamsjul Anam, MT.

Abstrak:

Dalam dunia kelistrikan ada 2 cara penyaluran daya, yaitu dengan sistem AC dan DC. Dalam sistem DC berbagai peralatan yang digunakan cukup berbeda daripada sistem AC dan komponen terpenting dalam sistem transmisi DC ialah konverter 12 pulsa. Namun konverter yang digunakan menimbulkan masalah kualitas daya yaitu munculnya arus harmonisa, dimana harmonisa sangat merugikan karena dapat mengakibatkan panas yang berlebih pada peralatan. Arus harmonisa mengakibatkan tegangan juga terdistorsi seiring arus yang lewat juga tidak murni sinusoidal. Dalam tugas akhir ini melakukan simulasi harmonisa pada bus-bus sistem interkoneksi pada backbone transmisi guna mengetahui nilai harmonisa baik pada masing –masing sistem kelistrikan tetapi juga pada bus-bus sistem backbone itu sendiri dan membandingkan hasilnya sebelum dan setelah penambahan peralatan filter pasif. Filter pasif tipe *single tune* dan *high pass type C* mampu secara efektif meredam level harmonisa pada sistem secara menyeluruh tidak hanya pada satu frekuensi tertentu, melainkan frekuensi yang lebih tinggi juga. Dimana hasil yang didapatkan ialah pada bus Samarinda Rec THD_v menjadi 1.08, Balikpapan Inv THD_v menjadi 1.04, Balikpapan Rec THD_v menjadi 0.97, dan Pontianak Inv THD_v menjadi 0.86.

Kata kunci: (*Sistem DC, Harmonisa, Filter Pasif*)

Halaman ini sengaja dikosongkan

PLANNING OF FILTER INSTALLATION TO REDUCE HARMONICS ON KALIMANTAN'S BACKBONE 500 KV DC ELECTRICITY SYSTEM

Student Name : Azhaqqi Yakhya
Supervisor I : Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D.
Supervisor II : Ir. Sjamsjul Anam, MT.

Abstract:

In the electricity area there are 2 different ways to transmit the power energy, there are AC and DC system. On DC system there are different devices compare with AC system, and most important device is 12 pulse converter. But, converter make some power quality disturbance in harmonic area, harmonic are to dangerous because it can result overheating to the devices. Harmonic current can impact to harmonic voltage although the current wave not even sinusoidal. This final project simulate harmonic and investigate the harmonic level on transmission backbone bus and all sistem buses and compare level harmonic bafore and after passife filter installation. Passife filter single tune type and high pass type C can reduce harmonic level effectively, it could reduce harmonics not only in one frequency, but higher frequency too. Where the results that we get are THD_v Samarinda Rec became 1.08, THD_v Balikpapan Inv became 1.04, THD_v Balikpapan Rec became 0.97, and THD_v Pontianak Inv became 0.86.

Key Word: *(DC System, Harmonics, Passive Filter)*

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala Rahmat, Karunia, dan Petunjuk yang telah dilimpahkan-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir dengan judul **“PERENCANAAN PEMASANGAN FILTER UNTUK MENGURANGI HARMONISA PADA SISTEM JARINGAN KELISTRIKAN DC BACKBONE 500 KV KALIMANTAN”**.

Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan jenjang pendidikan S1 pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Atas selesainya penyusunan tugas akhir ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT atas limpahan rahmat, karunia dan petunjuk-Nya.
2. Ibu dan Bapak penulis atas doa dan cinta yang tak henti pada penulis dalam keadaan apapun. Semoga Allah SWT senantiasa melindungi dan memberi mereka tempat terbaik kelak di surga-Nya.
3. Bapak Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D. dan Bapak Ir. Sjamsjul Anam, MT. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, bimbingan dan perhatiannya selama proses penyelesaian tugas akhir ini.
4. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Elektro ITS yang telah memberikan banyak ilmu dan menciptakan suasana belajar yang luar biasa.
5. Teman-teman seperjuangan e54 yang telah menemani dan memberikan dukungan selama masa kuliah sampai penyusunan tugas akhir ini.

Penulis telah berusaha maksimal dalam penyusunan tugas akhir ini. Namun tetap besar harapan penulis untuk menerima saran dan kritik untuk perbaikan dan pengembangan tugas akhir ini. Semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat yang luas.

Surabaya, Januari 2019

Azhaqqi Yakhya

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK.....	vii
<i>ABTRACT</i>	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL.....	xx
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Permasalahan	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Metodologi.....	2
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA.....	5
2.1 Kajian Penelitian Terkait	5
2.2 Transmisi Tegangan Tinggi DC	5
2.2.1 Sistem monopolar	5
2.2.2 Sistem Bipolar	6
2.2.3 Sistem Homopolar	7
2.3 Peralatan Sistem Tegangan Tinggi DC.....	7
2.4 Harmonisa.....	9
2.4.1 Pengertian Harmonisa.....	9
2.4.2 Analisis Harmonisa.....	10
2.4.3 Sumber Harmonisa	11
2.4.3.1 Konverter	11
2.4.3.2 Mesin Listrik.....	12

2.4.3.3 Transformer	13
2.4.4 Pengaruh Harmonisa	13
2.4.4.1 Pengaruh Pada Faktor Daya	13
2.4.4.2 Pengaruh Pada Transmisi	13
2.4.4.3 Pengaruh Pada Transformer	14
2.4.4.4 Pengaruh Pada Kapasitor Bank	14
2.4.4.5 Resonansi	15
2.4.4.5.1 Resonansi Seri	15
2.4.4.5.2 Resonansi Paralell	15
2.4.4.6 Pengaruh Pada Mesin berputar	15
2.4.5 Indeks Harmonisa.....	16
2.4.5.1 THD.....	16
2.4.5.2 TDD.....	17
2.4.6 Filter	17
2.4.6.1 <i>Single Tuned Filter</i>	18
2.4.6.2 <i>High Pass Filter</i>	19
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1 Sistem Kelistrikan Kalimantan.....	21
3.1.1 Sistem Kelistrikan Kalimantan barat.....	21
3.1.2 Sistem Kelistrikan Kalimantan Selatan - Tengah.....	23
3.1.3 Sistem Kelistrikan Kalimantan Timur - Utara.....	25
3.2 Pertumbuhan Beban Kalimantan	27
3.3 Kapasitas Konverter.....	29
3.4 Langkah-Langkah Peredaman Harmonisa Di Interkoneksi Kalimantan.....	30
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	33
4.1 Simulasi Harmonisa	33
4.2 Perhitungan Spesifikasi Filter.....	36

4.2.1 Desain Filter Pasif.....	38
4.2.1.1 Samarinda Rec	38
4.2.1.1 Banjarmasin Inv	43
4.2.1.3 Banjarmasin Rec	49
4.2.1.4 Pontianak Inv	55
4.2.2 Simulasi Harmonisa Setelah Penambahan Filter	61
BAB 5 KESIMPULAN.....	75
5.1 Kesimpulan	75
5.2 Saran	75
DAFTAR PUSTAKA	77
LAMPIRAN.....	79
BIODATA PENULIS	89

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sistem Monopolar	6
Gambar 2.2 Sistem Bipolar	6
Gambar 2.3 Sistem Homopolar	7
Gambar 2.4 Sistem Tegangan Tinggi DC	8
Gambar 2.5 Gelombang Terdistorsi Dan Frekuensi Gelombang Penyusunnya.....	10
Gambar 2.6 Filter Single Tuned, Impedansi Filter	19
Gambar 2.7 Filter Damped tipe C, Impedansi Filter	19
Gambar 3.1 Peta perencanaan Pembangunan Wilayah Kalimantan Barat	22
Gambar 3.2 Peta perencanaan Pembangunan Wilayah Kalimantan Selatan	24
Gambar 3.3 Peta perencanaan Pembangunan Wilayah Kalimantan Tengah.....	24
Gambar 3.4 Peta perencanaan Pembangunan Wilayah Kalimantan Timur	26
Gambar 3.5 Peta perencanaan Pembangunan Wilayah Kalimantan Utara	26
Gambar 4.1 Spektrum harmonisa pada bus Samarinda Rec	34
Gambar 4.2 Spektrum harmonisa pada bus Banjarmasin Inv	34
Gambar 4.3 Spektrum harmonisa pada bus Banjarmasin Rec	35
Gambar 4.4 Spektrum harmonisa pada bus Pontianak Inv	35
Gambar 4.5 Ilustrasi Pemasangan Filter Pada Bus Smrda Rec	41
Gambar 4.6 Kurva Impedansi Filter pada Bus Samarinda Rec	42
Gambar 4.7 Kurva Impedansi Bus Samarinda Rec Sebelum Dan Sesudah difilter	43

Gambar 4.8I lustrasi Pemasangan Filter Pada Bus Bjmasin Inv	47
Gambar 4.9 Kurva Impedansi Filter pada Bus Banjarmasin Inv	48
Gambar 4.10 Kurva Impedansi Bus Banjarmasin Inv Sebelum Dan Sesudah difilter.....	49
Gambar 4.11 Ilustrasi Pemasangan Filter Pada Bus Bjmasin Rec	53
Gambar 4.12 Kurva Impedansi Filter Bus Banjarmasin Rec	53
Gambar 4.13 Kurva Impedansi Bus Banjarmasin Rec Sebelum Dan Sesudah difilter.....	54
Gambar 4.14 Ilustrasi Pemasangan Filter Pada Bus Pontianak Inv	58
Gambar 4.15 Kurva Impedansi Filter Bus Pontianak Inv	59
Gambar 4.16 Kurva Impedansi Bus Pontianak Inv Sebelum Dan Sesudah difilter.....	60
Gambar 4.17 Spektrum Harmonisa Pada Bus Samarinda Rec	61
Gambar 4.18 Hasil Simulasi Filter STF 11 Pada Bus Samarinda Rec	62
Gambar 4.19 Hasil Simulasi Filter STF 13 Pada Bus Samarinda Rec	62
Gambar 4.20 Hasil Simulasi Filter tipe-C Pada Bus Samarinda Rec..	63
Gambar 4.21 Spektrum Harmonisa pada Bus Banjarmasin Inv.....	64
Gambar 4.22 Hasil Simulasi Filter STF 11 Pada Bus Banjarmasin Inv	65
Gambar 4.23 Hasil Simulasi Filter STF 13 Pada Bus Banjarmasin Inv	65
Gambar 4.24 Hasil Simulasi Filter tipe-C Pada Bus Banjarmasin Inv	66
Gambar 4.25 Spektrum Harmonisa pada Bus Banjarmasin Rec.....	67
Gambar 4.26 Hasil Simulasi Filter STF 11 Pada Bus Banjarmasin Rec	68
Gambar 4.27 Hasil Simulasi Filter STF 13 Pada Bus Banjarmasin Rec	68

Gambar 4.28 Hasil Simulasi Filter tipe-C Pada Bus Banjarmasin Rec	69
Gambar 4.29 Spektrum Harmonisa pada Bus Pontianak Inv	70
Gambar 4.30 Hasil Simulasi Filter STF 11 Pada Bus Pontianak Inv ..	71
Gambar 4.31 Hasil Simulasi Filter STF 13 Pada Bus Pontianak Inv ..	71
Gambar 4.32 Hasil Simulasi Filter tipe-C Pada Bus Pontianak Inv	72

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Batas Arus Harmonisa	17
Tabel 2.2 Batas Tegangan Harmonisa	17
Tabel 3.1 Asumsi Beban Regional Kalimantan	27
Tabel 4.1 Hasil Simulasi Harmonisa Tegangan terdistorsi	33
Tabel 4.2 Hasil Simulasi Harmonisa Artus terdistorsi	34
Tabel 4.3 Spesifikasi Filter Pada Bus Samarinda Rec	41
Tabel 4.4 Spesifikasi Filter Pada Bus Banjarmasin Inv	47
Tabel 4.5 Spesifikasi Filter Pada Bus Banjarmasin Inv	52
Tabel 4.6 Spesifikasi Filter Pada Bus Pontianak Inv	58
Tabel 4.7 Simulasi Hasil Harmonisa Terdistorsi	61

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem kelistrikan Indonesia sedang mengalami perkembangan ke arah yang lebih baik. Daerah sedang mengalami pembangunan-pembangunan yang signifikan, hal ini ditandai dengan banyaknya pembanguna-pembangunan yang lebih menitikberatkan ke daerah pelosok Indonesia. Pembangunan pembangkit listrik yang bertambah pesat sesuai dengan proyek yang sedang dijalankan pemerintah, untuk mencapai pembangunan pembangkit sebesar 35 GW. Meningkatnya kebutuhan listrik juga dirasakan oleh masyarakat di Pulau Kalimantan, berdasarkan data RUPTL PLN Tahun 2017-2026, diperkirakan kebutuhan listrik di Kalimantan akan meningkat sebesar 10,1 % untuk seluruh pelanggan listrik[6]. Untuk mentransmisikan daya dari suatu pembangkit menuju ke beban, salah satunya dapat dilakukan dengan sistem transmisi berdasarkan level tegangan. Perencanaan transmisi yang ada di pulau Kalimantan salah satunya menggunakan sistem 500 kV DC. Nantinya transmisi tersebut akan terkoneksi ke seluruh Kalimantan.

Sistem kelistrikan DC mempunyai banyak keuntungan dibandingkan dengan sistem AC, salah satu keuntungan dari sistem DC adalah memiliki losses di jaringan transmisi yang lebih kecil dari pada sistem kelistrikan AC, stabilitasnya lebih baik daripada sistem kelistrikan AC, dan masih ada yang lainnya. Namun diantara kelebihan-kelebihan yang ada, sistem kelistrikan DC juga mempunyai kekurangan, antara lain: penggunaan konverter menimbulkan harmonisa di sistem, biaya perencanaan pembangunan sistem DC lebih mahal dibandingkan sistem kelistrikan AC, dan masih banyak lagi.

Harmonisa didefinisikan sebagai spektrum sinyal yang memiliki frekuensi kelipatan dari frekuensi fundamementall sistem. Dalam sistem HVDC harmonisa ditimbulkan oleh peralatan yang mempunyai karakteristik non-linier, peralatan utama penyebab harmonisa muncul pada sistem kelistrikan HVDC adalah konverter. Harmonisa yang muncul dalam sistem DC dapat menimbulkan rugi seperti mengurangi efisiensi dari pembangkitan daya di generator, merusak isolasi peralatan, menimbulkan efek panas kepada peralatan yang sedang

bekerja, pada bagian transmisi akan mengakibatkan interferensi dengan jaringan telekomunikasi. Namun efek harmonisa dapat dikurangi dengan menambah peralatan, salah satu filter yang ada dan dapat secara efektif mengurangi efek harmonisa yaitu filter pasif. Didalam filter pasif terdiri dari resistor, kapasitor dan induktor, dan filter pasif akan menghasilkan frekuensi resonansi untuk mengurangi harmonisa yang ada..

1.2 Permasalahan

Perumusan masalah yang akan dibahas pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana kondisi level harmonisa pada sistem interkoneksi HVDC?
2. Bagaimana desain filter pasif yang digunakan untuk mengurangi harmonisa?

1.3 Tujuan

Tujuan yang diharapkan dari pelaksanaan tugas akhir ini adalah :

1. Untuk mengetahui level harmonisa pada sistem kelistrikan setelah terhubung dengan saluran interkoneksi
2. Untuk mengetahui desain filter pasif yang digunakan untuk mengurangi efek harmonisa
3. Untuk mengetahui penurunan harmonisa sebelum dan setelah adanya filter. Sehingga dapat diketahui nilai penurunan indeks harmonisa pada masing-masing sub sistem

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam tugas akhir ini berupa:

1. Perangkat lunak yang digunakan yaitu Digsilent Power Factory 15.1.7
2. Simulasi dan analisa permodelan sistem berdasarkan hasil perencanaan yang sudah ada

1.5 Metodologi

Metodologi yang digunakan dalam menyusun penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Studi pustaka
Studi pustaka yang dilakukan yaitu mengumpulkan informasi pada buku, paper, referensi tentang harmonisa dan filter *high pass*
2. Pengambilan data
Data berupa *Single Line Diagram*, data library dari *software* Digsilent Power Factory 15.1.7
3. Simulasi dan Analisis Data
Langkah awal pada tahap ini dengan melakukan simulasi aliran daya untuk mengetahui kondisi kualitas daya dari sistem kelistrikan Kalimantan. Kemudian melakukan pemodelan interkoneksi backbone guna menghubungkan keseluruhan sistem kelistrikan yang sudah ada. Langkah berikutnya dengan simulasi aliran daya kembali sesudah terhubung keseluruhan sistem dengan backbone agar diketahui kondisi sistemnya. Analisa harmonisa pada backbone sebelum pemasangan filter dan setelahnya dilakukan penambahan filter pada bus dekat dengan sumber harmonisa dan dilakukan analisis harmonisa hingga sesuai dengan level harmonisa yang ada pada standar IEEE 519 – 1992.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam tugas akhir ini terdiri atas lima bab dengan uraian sebagai berikut :

- Bab 1 : Pendahuluan
Bab ini membahas tentang penjelasan mengenai latarbelakang, permasalahan dan batasan masalah, tujuan, metode penelitian, sistematika pembahasan, dan relevansi.
- Bab 2 : Tinjauan Pustaka
Bab ini berisi tentang, pemodelan sistem, harmonisa dan filter yang digunakan.
- Bab 3 : Sistem Kelistrikan Kalimantan
Bab ini membahas mengenai perencanaan sistem kelistrikan kalimantan berdasar RUPTL

Bab 4 : Simulasi dan Analisis

Bab ini membahas hasil perhitungan analisis dan proses serta hasil dari simulasi yang dikerjakan

Bab 5 : Penutup

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran dari hasil pembahasan yang telah dilakukan.

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Kajian Penelitian Terkait

Pada sistem HVDC untuk mentransmisikan daya dari sisi AC ke DC membutuhkan peralatan konverter, setelah ditransmisikan nantinya akan kembali diubah menjadi ke bentuk AC melalui inverter. Dalam dunia keteknikan mengontrol dan mengeliminasi harmonisa menjadi permasalahan yang penting, dan terlebih pada pengoperasian HVDC analisa harmonisa menjadi isu yang sangat penting

Pada penyaluran daya jarak jauh dengan HVDC akan sangat menguntungkan jika memertimbangkan sisi ekonomisnya karena minimnya rugi-rugi pada saluran transmisi. Namun kerugiannya akan muncul harmonisa yang dapat merugikan, tetapi dengan penambahan filter pasif menjadi salah satu cara untuk memitigasi harmonisa yang muncul

Studi mengenai filter dibutuhkan agar filter dapat mencapai pada batas yang diperbolehkan. Keuntungan dari filter pasif ialah dia akan menghilangkan kerugian yang tidak berguna dari konversi listrik AC ke DC maupun DC ke AC.

2.2 Transmisi Tegangan Tinggi DC

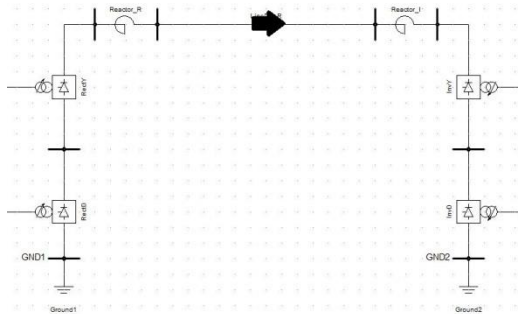
Berbeda dengan transmisi AC, transmisi dengan tegangan DC mempunyai kelebihan dan kekurangannya masing-masing. Salah satu kelebihan yang menonjol sistem transmisi tegangan DC ialah rugi-rugi transmisi yang lebih kecil dibandingkan dengan sistem transmisi AC. Mengingat hal tersebut maka untuk penyaluran daya dengan jarak yang jauh dibutuhkanlah sistem transmisi DC.

Sistem transmisi DC mempunyai bermacam tipikal model. Konfigurasi transmisi yang umum pada sistem DC diantaranya[1]:

2.2.1 Sistem Monopolar

Dalam sistem ini terdapat 2 konverter yang saling terhubung dengan sebuah konduktor. Transfer daya dilakukan searah dan ground digunakan untuk memblokir daya yang akan ditransfer

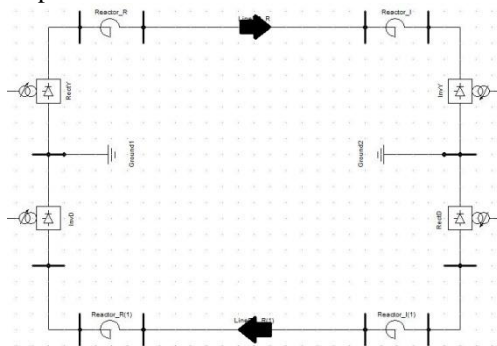
berlawanan arah. Gambar 2.1 merupakan gambaran umum sistem Monopolar



Gambar 2.1 Sistem Monopolar

2.2.2 Sistem Bipolar

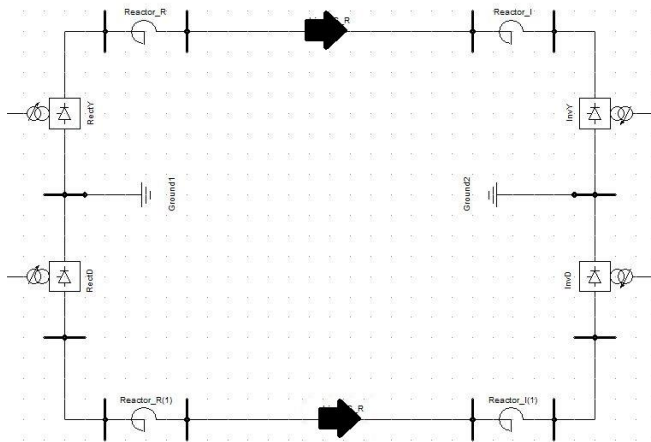
Sistem ini paling banyak digunakan dalam sistem kelistrikan DC, sistem ini menggunakan 2 konduktor satu berupa positif dan lainnya berupa sisi negatif. Kedua konduktor dapat dioperasikan terpisah, apabila salah satu konduktor mengalami gangguan dan tidak dapat bekerja, maka konduktor lainnya tetap bisa bekerja. Gambar 2.2 dibawah merupakan sistem Bipolar, yang mana dalam sistem ini kapasitas transfer daya akan meningkat seiring penggunaan lebih banyak konduktor dan konverter dibandingkan sistem monopolar



Gambar 2.2 Sistem Bipolar

2.2.3 Sistem Homopolar

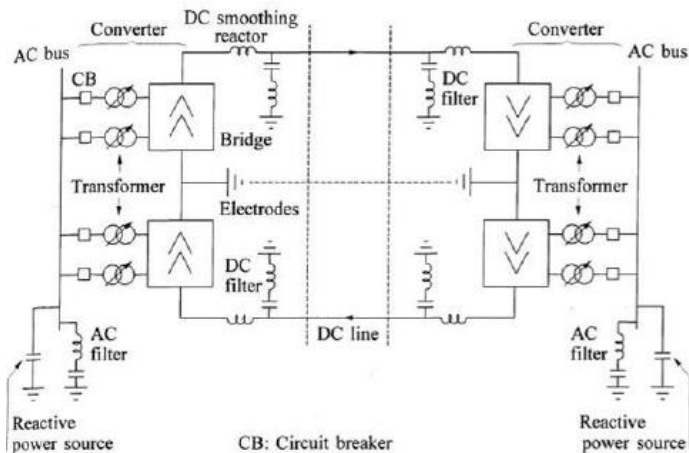
Model transmisi homopolar seperti dengan gambar 2.3 dibawah memiliki 2 konduktor atau lebih beserta konverternya dan hampir mirip dengan sistem permodelan bipolar namun arah aliran balik melewati ground. Apabila salah satu konduktor mengalami gangguan maka konduktor tersisa akan disuplai lebih oleh konverter yang konduktornya mengalami gangguan. Hal ini tentunya akan menyebabkan pembebanan yang berlebihan pada konduktor.



Gambar 2.3 Sistem Homopolar

2.3 Peralatan Sistem Tegangan Tinggi DC

Dalam fungsinya untuk menyalurkan daya dari pembangkit ke beban pada jarak tertentu, maka dalam sistem transmisi sendiri dibutuhkan peralatan-peralatan guna menunjang kerja sebagai penyalur daya yang baik. Namun peralatan-peralatan dalam sistem transmisi kelistrikan DC berbeda dengan sistem transmisi AC. Gambar 2.4 dibawah berikut merupakan beberapa peralatan yang ada pada sistem kelistrikan DC[2]



Gambar 2.4 Sistem Tegangan Tinggi DC[2]

1. Konverter

Dalam kegunaannya konverter disini berguna untuk merubah sinyal AC menjadi DC (*rectifier*) dan sinyal DC menjadi AC (*inverter*). Dalam konverter sendiri sudah disertai dengan transformer yang menghasilkan sumber tegangan tiga fasa.

2. Kapasitor Shunt

Dalam melakukan transfer daya, konverter membutuhkan daya reaktif agar bisa bekerja dengan baik. Sumber daya reaktif biasanya berupa kapasitor bank ataupun *synchronous condenser*

3. Filter

Filter digunakan untuk mengurangi level harmonisa tegangan dan arus yang dihasilkan oleh sumber harmonisa (*rectifier*, *inverter*). Efek harmonisa berbahaya untuk peralatan karena dapat menyebabkan *overheating* pada peralatan disekitar sumber harmonisa.

4. Reaktor

Reaktor yang terpasang pada sistem berfungsi untuk:

- Mengurangi level harmonisa pada konduktor DC
- Mencegah terjadinya kegagalan komutasi pada konverter

- Mencegah arus agar tidak diskontinyu pada saat penyaluran daya kecil

5. Konduktor DC

Berguna sebagai media penyalur daya pada sistem kelistrikan DC, konduktor DC hampir sama dengan konduktor AC.

6. Ground/Elektroda

Elektroda berguna sebagai saluran netral dari konduktor DC

7. AC CB

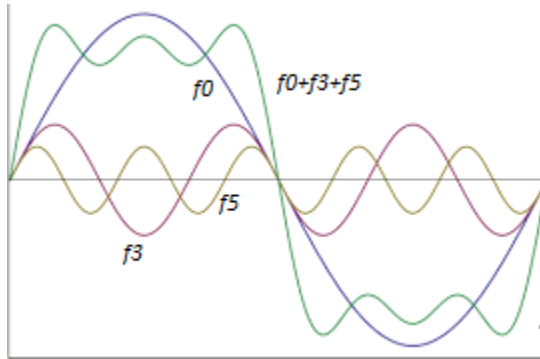
Pemutus AC berfungsi untuk memutus gangguan pada bagian AC sistem.

2.4 Harmonisa

2.4.1 Pengertian Harmonisa

Harmonisa merupakan sinyal gelombang cacat dengan frekuensi kelipatan bilangan bulat frekuensi fundamentalnya, sehingga bentuk gelombang dasarnya menjadi rusak tidak murni sinus lagi. Bentuk gelombang yang terdistorsi merupakan penjumlahan dari gelombang-gelombang frekuensi awal dan gelombang frekuensi yang terdistorsi, sehingga semakin banyak gelombang frekuensi yang terdistorsi, semakin jelek atau non sinusoidal bentuk gelombang frekuensinya.

Dalam sistem kelistrikan di Indonesia, menggunakan frekuensi dasar 50 Hz. Atau sering disebut juga $f_0 = 50$ Hz. Persamaan frekuensi harmonisa dapat dicari dengan persamaan $f_h = f_0 \times n$, dimana f_0 merupakan frekuensi fundamental (50 Hz) dan n merupakan bilangan bulat. Dalam suatu gelombang terdistorsi karena efek harmonisa, maka orde harmonisa yang mungkin mengganggu yaitu harmonisa orde 3, orde 5, orde 7, orde 7 berarti harmonisa pada frekuensi 350 Hz . Gambar dibawah merupakan gelombang terdistorsi dan frekuensi gelombang harmonisa penyusunnya



Gambar 2.5 Gelombang Terdistorsi dan Frekuensi Gelombang Penyusunnya

2.4.2 Analisa Harmonisa

Dalam analisa harmonisa tiga fasa, analisanya dilihat berdasarkan komponene simetrisnya. Pada sitem seimbang arus-arus harmonisa dapat dikelompokkan menjadi tiga berdasarkan putarannya dalam komponen simetris yaitu:

1. Harmonisa urutan positif

Harmonisa orde 4, 7, 10, ...

Misal pada harmonisa orde ke 4

$$i_{a4} = i_{a4} \times \sin 4 \omega t \quad (2.1)$$

$$i_{b4} = i_{b4} \times \sin 4 (\omega t - 120)$$

$$i_{b4} = i_{b4} \times \sin (4\omega t - 480) \quad (2.2)$$

$$i_{c4} = i_{c4} \times \sin 4 (\omega t - 240)$$

$$i_{c4} = i_{c4} \times \sin (4\omega t - 960) \quad (2.3)$$

Harmonisa urutan positif memiliki urutan fasa yang sama dengan harmonisa fundamentallnya.

2. Harmonisa urutan negatif

Harmonisa orde 5, 8, 11, ...

Misal pada harmonisa orde ke 5

$$i_{a5} = i_{a5} x \sin 5 wt \quad (2.4)$$

$$i_{b5} = i_{b5} x \sin 5 (wt - 120)$$

$$i_{b5} = i_{b5} x \sin (5wt - 600) \quad (2.5)$$

$$i_{c5} = i_{c5} x \sin 5 (wt - 240)$$

$$i_{c5} = i_{c5} x \sin (5wt - 1200) \quad (2.6)$$

Harmonisa urutan negative memiliki urutan yang berlawanan dengan harmonisa fundamentalnya, dan harmonisa ini dapat menyebabkan pemanasan dalam peralatan

3. Harmonisa urutan nol

Harmonisa orde 3, 6, 9, ...

Misal pada harmonisa orde ke 3

$$i_{a3} = i_{a3} x \sin 3 wt \quad (2.7)$$

$$i_{b3} = i_{b3} x \sin 3 (wt - 120)$$

$$i_{b3} = i_{b3} x \sin (3wt - 360) \quad (2.8)$$

$$i_{c3} = i_{c3} x \sin 3 (wt - 240)$$

$$i_{c3} = i_{c3} x \sin (3wt - 720) \quad (2.9)$$

Dalam harmonisa urutan nol, tidak akan menghasilkan perputaran medan, sehingga panas yang ditimbulkan harmonisa urutan nol lebih besar dibandingkan urutan positif, maupun negatif. Harmonisa urutan nol menghasilkan arus netral yang besarnya beberapa kali dari arus fasa dan arus tersebut dapat menyebabkan kebakaran pada peralatan

2.4.3 Sumber-Sumber Harmonisa

2.4.3.1 Konverter

Dalam perkembangan peralatan yang ada sampai saat ini banyak peralatan baik yang digunakan dalam rumah tangga maupun industri besar dikarenakan efisiensi dari peralatan yang menggunakan proses switching lebih baik dari pada peralatan konvensional lainnya. Penggunaan peralatan yang terdapat semikonduktor seperti diode pada konverter, rectifier, maupun inverter banyak ditemukan dalam peralatan

rumah tangga, contoh dari peralatan rumah tangga yang menggunakan konverter: lampu *flourescent* ,televisi LED, pengisi daya pada *handphone* ataupun laptop. Sedangkan dalam dunia industri peralatan yang menggunakan prinsip switching dan menghasilkan harmonisa seperti dari *Variable Speed Drive* dan *Variabel Frekuensi Drive*.

Dalam sistem kelistrikan DC, konverter (*rectifier* dan *inverter*) merupakan peralatan yang paling penting, karena tanpa adanya peralatan ini, penyaluran daya akan terganggu. Namun dengan mengesampingkan fungsi dari konverter sendiri, peralatan ini menimbulkan kerugian yaitu sebagai sumber harmonisa. Bentuk gelombang arus dan tegangan yang dihasilkan pada sisi AC konverter tidak lagi sinusoidal , gelombang tersebut mengandung frekuensi dasar dan frekuensi harmonisa sehingga bentuk gelombang di sisi AC tidak murni sinusoidal. Dari sinyal gelombang yang didapat, dapat diperoleh hasil sebagai berikut[1]:

1. Konverter tidak menghasilkan harmonisa orde kelipatan 3, atau dapat dikatakan tidak menghasilkan arus harmonisa urutan nol.
2. Pada peralatan penyearah 6 pulsa harmonisa yang dihasilkan ialah harmonisa orde $6k \pm 1$, dengan nilai k yaitu bilangan bulat. Harmonisa urutan negative dihasilkan oleh harmonisa orde $6k + 1$, sedangkan urutan positif dihasilkan oleh harmonisa orde $6k - 1$. Orde harmonisa yang muncul pada penyearah 6 pulsa yaitu orde 5, 7, 11, 13, ...
3. Pada peralatan penyearah 12 pulsa harmonisa yang dihasilkan ialah harmonisa orde $12k \pm 1$, dengan nilai k yaitu bilangan bulat. Harmonisa urutan negative dihasilkan oleh harmonisa orde $12k + 1$, sedangkan urutan positif dihasilkan oleh harmonisa orde $12k - 1$. Orde harmonisa yang muncul pada penyearah 6 pulsa yaitu orde 11, 13, 23, 25, ...

2.4.3.2 Mesin Listrik

mesin-mesin listrik seperti generator sinkron, motor induksi, dan lain sebagainya menghasilkan harmonisa. Pada motor listrik harmonisa muncul akibatkan kejenuhandaan fluks yang tidak lagi sinusoidal. Karena itu terbentuklah EMF yang tidak sinusoidal yang

akan menghasilkan arus yang juga tidak sinusoidal bila mesin listrik dibebani.

2.4.3.3 Transformer

Padaperalatan trafo apabila tidak dibebani maka tegangan primer trafo sebanding dengan nilai EMF balik karena resistansi belitan dan reaktansi arus bocor diabaikan. Tegangan primer dinyatakan dalam persamaan:

$$e_1 = -N_1 \frac{d\vartheta}{dt} \quad (2.10)$$

Dari persamaan diatas didapatkan fluks rata-rata

$$\varphi = -\int \frac{\varphi_1}{N_1} dt = \frac{E_m}{N_1 \omega} \sin \omega t = \varphi_m \sin \omega t \quad (2.11)$$

Persamaan diatas menjjabarkan tentang tegangan primer yang sinusoidal akan menghasilkan fluks yang sinusoidal juga saat kondisi tanpa beban.

2.4.4 Pengaruh Harmonisa

2.4.4.1 Pengaruh Pada Faktor Daya

Nilai faktor daya dari sebuah sistem bergantung dari besarnya daya aktif dan daya reaktifnya, dan pada umumnya beban-beban yang ada sebagian bear bersifat induktif atau power faktor lagging . beban yang bersifat induktif diantaranya motor induksi, konverter, dll. Peralatan-peralatan tersebut membutuhkan daya reaktif yang besar dan daya reaktif yang diambil berasal dari jaringan. Semakin besar daya reaktif yang dibutuhkan maka dapat mengakibatkan nilai faktor daya akan semakin turun.

Turunnya nilai faktor daya mengakibatkan kerugian-kerugian baik bagi sisi produsen dan konsumen, diantaranya: level tegangan sistem turun yang akan mengakibatkan peralatan yang mungkin tidak bisa bekerja pada range tegangan tertentu, meningkatkan rugi-rugi jaringan dikarenakan semakin besar daya reaktif maka arus total juga semakin besar dan hal ini akan meningkatkan rugi-rugi di jaringan, drop tegangan sistem membesar.

2.4.4.2 Pengaruh Pada Transmisi

Pada sisi transmisi peningkatan arus akibat interferensi harmonisa mengakibatkan nilai aru rms akan meningkat. Rugi-rugi

saluran pada sistem yang terdapat arus harmonisa dapat dihitung dengan

$$P_{losses} = \sum_{n>1}^{\infty} I_n^2 \times R \quad (2.12)$$

Nilai n merupakan harmonisa orde ke-n, dan R ialah nilai resistansi

Akibat adanya harmonisa pada sistem transmisi mengakibatkan peningkatan rugi-rugi saluran, penurunan suhu pada konduktor diakibatkan arus harmonisa dan dapat memperpendek umur konduktor.

2.4.4.3 Pengaruh Pada Transformer

Harmonisa mengakibatkan meningkatnya rugi-rugi pada transformer dan meningkatnya arus eddy. Batas atas distorsi arus yang diperbolehkan pada transformer ialah 5% dan transformer harus mampu bertahan pada level 5% tegangan lebih dan 10% pada saat tanpa beban[3].

Pada sebuah transformer nilai rugi-rugi yang ada ialah rugi-rugi inti, belitan, dan lain-lain. Total rugi-rugi pada transformer dapat dikalkulasikan dengan persamaan dibawah

$$P_{LL} = P + P_{EC} + P_{OSL} \quad (2.13)$$

Dimana P_{LL} ialah rugi-rugi total, P adalah rugi-rugi karena panas, P_{EC} merupakan rugi belitan karena arus eddy dan P_{OSL} ialah rugi-rugi lainnya.

2.4.4.4 Pengaruh Pada Kapasitor Bank

Pengaruh paling besar dari harmonisa pada kapasitor ialah saat kondisi resonansi yang bisa terjadi pada suatu nilai frekuensi tertentu. Resonansi sendiri dapat menyebabkan panas berlebihan pada kapasitor. Adanya pergeseran tegangan mengakibatkan rugi-rugi daya di kapasitor sebesar[4]:

$$P_{Losses} = \sum_{n=1}^{\infty} C (\tan \delta) \omega_n V_n^2 \quad (2.14)$$

Dimana $\tan \delta = \frac{R}{1/\omega C}$ ialah faktor dari rugi-rugi daya, $\omega_n = 2\pi f_n$ dengan f_n saat frekuensi harmonisa ke n. Sehingga didapat daya reaktif totalnya[4]:

$$Q = \sum_{n=1}^{\infty} n \quad (2.15)$$

2.4.4.5 Resonansi

Resonansi terjadi apabila suatu nilai kapasitansi sama dengan nilai induktansi peralatan. Saat terjadi resonansi pada kapasitor yang sering digunakan untuk perbaikan nilai faktor daya akan mengakibatkan nilai arus saat resonansi menjadi besar sehingga dapat mengakibatkan kerusakan pada kapasitor itu sendiri. Resonansi dibagi menjadi dua, yaitu resonansi seri dan resonansi paralel.

2.4.4.5.1 Resonansi Seri

Saat terjadi resonansi seri nilai kapasitansi dan induktansi sama besar, sehingga nilai reaktansi totalnya sama dengan nol atau sangat kecil. Karena nilai impedansi yang sangat kecil mengakibatkan arus yang lewat menjadi sangat besar, arus yang besar ini dapat mengakibatkan pemanasan berlebih dan akhirnya dapat merusak peralatan.

Resonansi ini dapat terjadi saat sumber harmonisa terpasang seri dengan kapasitor dan transformer. Nilai reaktansi dari kapasitor dan transformer akan saling meniadakan dan nilai impedansi sama dengan nilai reaktansinya

2.4.4.5.2 Resonansi Paralel

Berbeda dengan resonansi seri, resonansi paralel terjadi saat nilai kapasitansi sama dengan nilai induktansi, namun karena rangkaian tersusun paralel, reaktansinya tidak saling meniadakan melainkan mengalikkan sehingga nilai impedansi resonansi paralel sangat tinggi.

Resonansi paralel terjadi apabila sumber harmonisa terpasang pada bus yang sama dengan kapasitor dan transformer. Pada suatu frekuensi tertentu akan mengakibatkan resonansi paralel. Akibat dari besarnya impedansi, maka arus yang lewat akan sangat kecil sehingga tegangan sistem akan meningkat secara berlebih.

2.4.4.6 Pengaruh Pada Mesin Berputar

Harmonisa pada mesin berputar akan mengakibatkan pergeseran shaft, torsi yang berlawanan, noise, pemanasan berlebih, dan mengurangi efisiensi dari mesin[3]. Pada harmonisa urutan positif akan membantu kecepatan torsi mesin yang berputar, sedangkan pada harmonisa urutan negatif akan mengurangi kecepatan torsi mesin.

Harmonisa urutan nol tidak menghasilkan fluks sehingga tidak berpengaruh pada mesin berputar, hanya saja harmonisa urutan nol memiliki arus yang lebih besar dari arus fasanya, sehingga dapat menyebabkan pemanasan berlebih peralatan.

2.4.5 Indeks Harmonisa

Indeks harmonisa ialah besaran yang digunakan sebagai acuan apakah nilai harmonisa tegangan dan arus dapat diterima ataupun tidak. Umumnya indeks yang digunakan pada sistem tenaga listrik yaitu *Total Harmonic Distortion* (THD) dan *Total Demand Distortion*(TDD), yang mana kedua indeks tersebut menggunakan besaran efektif tegangan dan arus.

2.4.5.1 Total Harmonic Distortion (THD)

THD ialah presentase komponen harmonisa terhadap komponen fundamentalnya. Besaran harmonisa dinyatakan dalam prosentase (%) dan dapat dinyatakan berupa THD tegangan maupun THD arus. Persamaan THD dapat dinyatakan sebagai :

$$I_{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \quad \text{dan} \quad V_{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}}{V_1} \quad (2.16)$$

Dimana : I_n = Arus harmonisa ke-n

V_n = Tegangan harmonisa ke-n

I_1 = Arus pada frekuensi fundamental

V_1 = Tegangan pada frekuensi fundamental

n = Orde harmonisa

THD digambarkan sebagai distorsi yang merugikan, semakin tinggi nilai presentase dari THD maka semakin terdistorsi bentuk gelombang tegangan dan arusnya. Satu cara untuk mengurangi nilai presentase suatu THD yaitu dengan meminimalisir arus harmonisa, ketika nilai arus harmonisa dapat dikontrol maka nilai harmonisa tegangan dapat diterima[5].

2.4.5.2 Total Demand Distortion (TDD)

TDD didefinisikan sebagaiperbandingan arus harmonisa dengan arus demand. Dinyatakan dengan persamaan dibawah ini:

$$TDD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{n=\infty} I_n^2}}{I_L} \quad (2.17)$$

Dimana I_L dinyatakan sebagai arus demand maksimum pada frekuensi fundamentalnya di *Point of Common Coupling* (PCC).

Berdasarkan standar IEEE 519-1992 menyatakan standar batas level harmonisa yang diijinkan pada harmonisa tegangan dan arus. Standar arus harmonisa dan tegangan harmonisa seperti **tabel 2.1** dan **tabel 2.2** yang diperbolehkan IEEE 519-1992 berlaku ssecara umum untuk digunakan sebagai gambaran sebagai batas atas yang diperbolehkan untuk nilai presentase harmonisa tegangan dan arus.

Tabel 2.1 Batas Arus Harmonisa

Distorsi Arus Harmonisa (%)						
$\frac{I_{sc}}{I_L}$	Orde Harmonisa Individual					
	<11	11≤n≤17	17≤n≤23	23≤n≤35	35≤n	THD
<20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20-50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50-100	10	4.5	4.0	1.5	0.7	12
100-1000	12	5.5	5.0	2.0	1.0	15
>1000	15	7.0	6.0	2.5	1.4	20
I_{sc} = Arus hubung singkat maksimum di PCC						
I_L = Arus maksimum permintaan di PCC						

Tabel 2.2 Batas Tegangan Harmonisa

Tegangan Bus	Harmonisa Individu (%)	THD (%)
<69 kV	3.0	5.0
69.001 kV – 161 kV	1.5	2.5
>161.001 kV	1.0	1.5

2.4.6 Filter

Untuk mengurangi harmonisa atau menurunkan level harmonisa kebawah standar yang telah ditentukna maka digunakanlah filter harmonsia, atau secara umum filter berguna untuk mengurangi amplitudo suatu arus atau tegangan pada frekuensi satu frekuensi tertentu atau lebih.

Adanya filter pada sistem kelistrikan dapat mengurangi persebaran arus yang telah terdisorsi frekuensi harmonisa, sehingga level harmonisanya menjadi kecil. Selain untuk mengurangi level harmonisa, filter dapat digunakan untuk kompensasi daya reaktif. Pada umumnya filter dapat dibagi menjadi dua macam jenisnya, yaitu filter aktif dan filter pasif.

Dalam study filter pasif merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mengurangi level harmonisa arus dan tegangan. Selain keuntungan ekonomis filter pasif juga banyak macamnya, ada dua macam jenis filter pasif, yaitu filter pasif seri dan filter pasif paralel. Pada filter pasif seri berfungsi sebagai penghalang dan memiliki impedansi tinggi pada frekuensi tertentu. Sedangkan filter pasif paralel berfungsi sebagai penjebak dan memiliki impedansi rendah pada frekuensi tertentu.

Filter pasif tersusun dari komponen-komponen pasif yaitu resistor, induktor, kapasitor. Secara umum filter pasif dibedakan menjadi tiga macam yaitu:

1. Filter dengan penalaan tunggal (*single tuned filter*)
2. Filter dengan penalaan ganda (*double tuned filter*)
3. *High Pass Damped Filter* (filter orde 3, filter tipe C)

2.4.6.1 *Single Tuned Filter*

Filter ini tersusun atas kapasitor, induktor, dan resistor yang terusun seridan gunannya untuk mereduksi harmonisa pada frekuensi tertentu. Impedansi filter ini dinyatakan dalam persamaan (2.18)

$$Z = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) \quad (2.18)$$

Sedangkan pada saat frekuensi resonansi, nilai dari reaktansinya ialah seperti persamaan (2.19):

$$X_0 = \omega_n L = \frac{1}{\omega_n C} = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (2.19)$$

Dan desain filter untuk single tuned filternya

$$C = \frac{Q}{V L - I^2 X W_0} \quad (2.20)$$

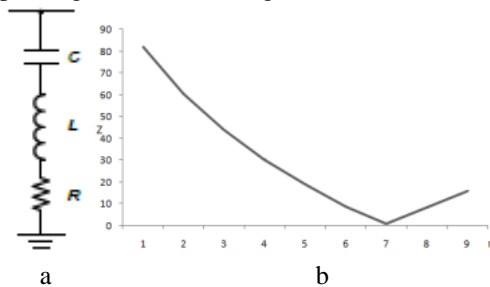
$$L = \frac{1}{W_n^2 X C} \quad (2.21)$$

$$X_L = X_C = X_0 \quad (2.22)$$

$$R = \frac{X_0}{Q} \quad (2.23)$$

Dengan besaran C, L, dan R sesuai dengan persamaan (2.20) – (2.23) dan nilai Q dipilih antara 30 -60, semakin besar nilai Q maka resistansi akan semakin kecil sehingga rugi-rugi juga semakin kecil.

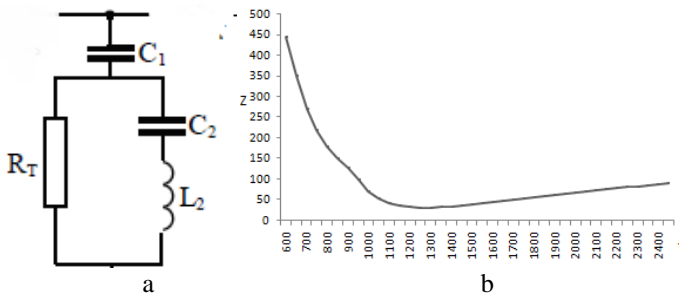
Berikut merupakan gambaran dari single tuned filter dan impedansinya



Gambar 2.6 a. *Filter Single Tuned*, b. Impedansi *Filter Single Tuned*

2.4.6.2 High Pass Filter

Dalam mendesain filter jenis HPF, digunakan beberapa perhitungan. Filter HPF bekerja dengan cara menghasilkan impedansi yang rendah untuk dapat dilewati arus harmonisa pada frekuensi tuning dan frekuensi atasnya dan arus harmonisa akan disalurkan ke filter dan mengalir ke ground sistem. Berikut merupakan desain dari filter HPF jenis C dan impedansinya.



Gambar 2.7 a. *Filter Damped Type C*, b. Impedansi *Filter Type C*

Impedansi filter didapat sesuai persamaan (2.24):

$$Z = \frac{(j\omega L_2 - j\frac{1}{\omega C_2})R_T}{R_T + j\omega L_2 - j\frac{1}{\omega C_2}} - j\frac{1}{\omega C_1} \quad (2.24)$$

Komponen L_2 dan C_2 diatur sesuai pada frekuensi fundamental

$$L_2 = \frac{1}{\omega_1^2 C_2} \quad (2.25)$$

Filter tipe C ini diatur pada frekuensi resonansinya $\omega_r = n_r \omega_1$

$$\omega_r = \frac{1}{\sqrt{L_2 \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}}} \quad (2.26)$$

Sehingga didapatkan C_2

$$C_2 = C_1 (n_r^2 - 1) \quad (2.27)$$

Nilai reaktif dari filter bisa didapatkan dengan

$$Q_F = C_1 \omega_1 \times V^2 \quad (2.28)$$

Dan nilai resistansi damping didapatkan sebagai

$$R = \frac{q V^2}{n_r Q} \quad (2.29)$$

Dengan besaran-besaran komponen sesuai dengan persamaan (2.25) – (2.29) dan q sebagai nilai faktor kualitas dan n_r sebagai orde frekuensi resonansi

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Sistem Kelistrikan Kalimantan

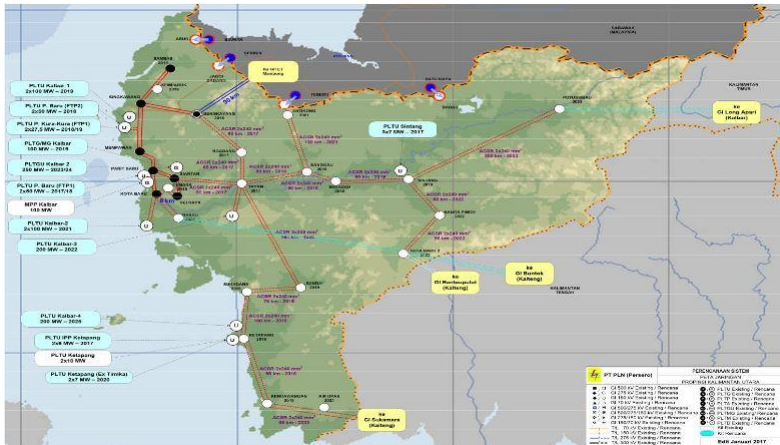
Sistem kelistrikan Kalimantan merupakan sistem yang sudah ada dan kedepannya sistem kelistrikan Kalimantan akan terhubung satu sama lain dengan saluran interkoneksi yang nantinya dapat memudahkan dalam penyaluran daya dari area ke area yang lain.

Sistem kelistrikan Kalimantan dapat dibagi menjadi kedalam tiga kawasan utama yaitu kawasan Kalimantan Barat, Kalimantan Selatan-Tengah, dan Kalimantan Timur-Utara. Pada beberapa tahun mendatang sistem kelistrikan akan terhubung dengan saluran interkoneksi setelah tahun 2026, karena semakin meningkatnya jumlah beban dan konsumen terlebih peningkatan jumlah beban dan konsumen tidak tersebar merata ke seluruh pulau, melainkan terpusat pada wilayah tertentu.

3.1.1 Sistem Kelistrikan Kalimantan Barat

Pada sistem kelistrikan Kalimantan Barat atau disebut juga sebagai sistem khatulistiwa, sebagian besar pasokan listrik berasal dari pembangkit listrik tenaga diesel[6], dikarenakan belum terdapatnya pembangkit listrik tenaga alternatif yang mampu mencukupi kebutuhan listrik pada kawasan ini.

Diperkirakan meningkatnya beban pada tahun-tahun yang akan datang mengharuskan untuk ditambahnya pasokan daya listrik dengan cara penambahan pembangkit. Selama tahun 2017 sampai 2026 sistem Kalimantan Barat akan dibangun pembangkit baru dengan kapasitas total 1.390 MW[6]. Perencanaan pembangunan Pembangkit baru di wilayah Kalimantan Barat bertujuan untuk menambah kapasitas daya pembangkitan total dan untuk menurunkan biaya total pembangkitan (BPP) dikarenakan sebagian besar pembangkit di wilayah tersebut masih menggunakan bahan bakar minyak sebagai sumber energi pembangkitan. Gambar dibawah merupakan perencanaan pembangunan pembangkit listrik di wilayah Kalimantan Barat.



Gambar 3.1 Peta Perencanaan Pembangunan Pembangkitan Wilayah Kalimantan Barat[6]

Beberapa proyek pembangunan pembangkitan di wilayah Kalimantan Barat, antara lain:

1. Pembangkit PLTP Parit Baru FTP 1 (2 x 50 MW)
2. Pembangkit PLTP Parit Baru FTP 2 (2 x 50 MW)
3. Pembangkit PLTU Pantai Kura-Kura (2 x 75 MW)
4. Pembangkit Pontianak 100 MW
5. PLTU Kalbar (2 x 100 MW)
6. PLTU Kalbar 2 (2 x 100 MW)
7. PLTG MPP Kalbar (100 MW)
8. PLTGU Kalbar 2(250 MW)
9. PLTU Kalbar 4 (200 MW)

Selain pemrenacanaan pembangkitan di wilayah Kalimantan Barat, nantinya tidak akan efektif tanpa diimbangi dengan perencanaan saluran transmisi yang memadai. Perencanaan pembangunan saluran transmisi ini samapai saat ini masih dalam proses pembangunan. Selain jalur transmisi di wilayah Kalimantan Barat itu sendiri yang akan dilakukan proses pemnagunannya, melainkan ada juga jalur interkoneksi 275 kVdengan wilayah Sarawak, Malaysia. Jalur interkoneksi dengan wilayah Sarawak berguna untuk melakukan transfer daya antar kedua wilayah, dan untuk menurunkan biaya produksi listrik di wilayah

Kalimantan Barat serta untuk mengantisipasi keterlambatan pembangunan proyek pembangkit listrik Kalimantan Barat. Sistem kelistrikan Kalimantan Barat terlampir

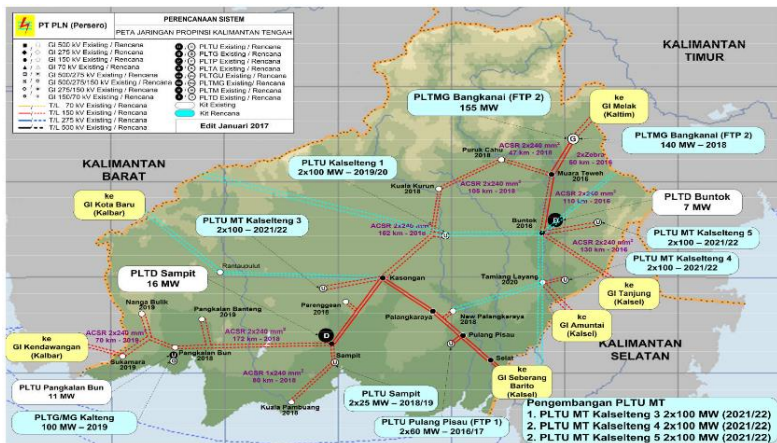
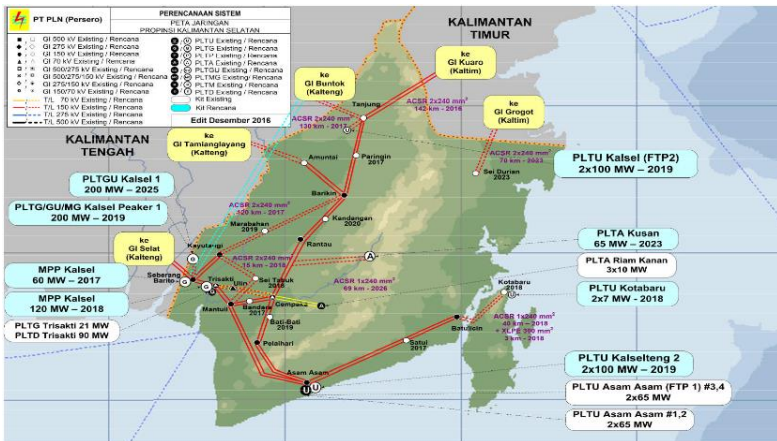
3.1.2 Sistem Kelistrikan Kalimantan Selatan - Tengah

Sistem kelistrikan di kawasan Kalimantan bagian selatan dan tengah ini merupakan salah satu sistem kelistrikan terbesar di wilayah Kalimantan. Sistem ini terhubung dengan interkoneksi dengan jaringan transmisi 70 kV dan 150 kV dan akan menyalurkan daya dari bermacam-macam jenis pembangkit listrik, mulai dari PLTU, PLTA, PLTD, PLTG. Sistem kelistrikan di kedua wilayah ini sendiri bisa diterjemahkan sendiri sebagai sistem Barito dan diperkirakan pada akhir tahun 2026 beban puncak pada sistem kelistrikan Barito dapat mencapai 1.637 MW[6].

Dalam perencanaan kelistrikan Kalimantan Selatan –Tengah ini, telah direncanakan pembangunan pembangkit baru yang nantinya akan digunakan untuk kelistrikan rumah tangga, industri di kedua wilayah ini. Berikut merupakan perencanaan pembangunan pembangkit untuk wilayah Kalimantan Selatan – Tengah hingga tahun 2029.

1. PLTU Kalsel FTP 2 (2 x 100 MW)
2. PLTU Kalselteng 1 (2 x 100 MW)
3. PLTU Kalselteng 2 (2 x 100 MW)
4. PLTU Kalselteng 3 (2 x 100 MW)
5. PLTU Kalselteng 4 (2 x 100 MW)
6. PLTG/GU/MGU Kalsel 1 (200MW)
7. Kalteng 1 (100MW)

Gambar dibawah merupakan perencanaan pembangkitan kelistrikan sistem Barito



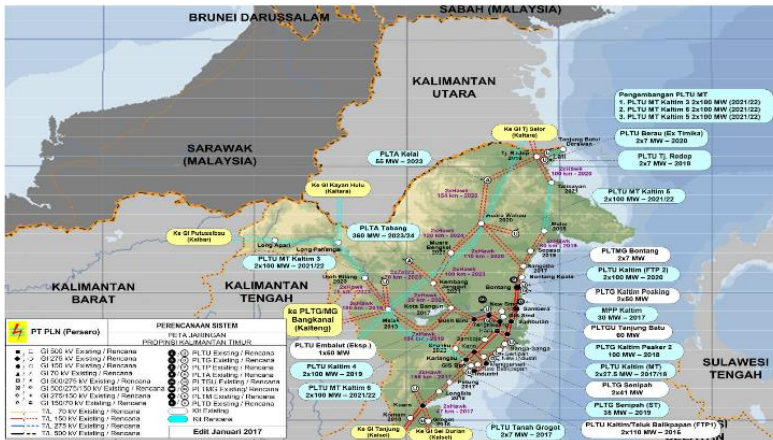
3.1.3 Sistem Kelistrikan Kalimantan Timur -Utara

Sistem kelistrikan Kalimantan Timur – Utara atau disebut juga sistem Mahakam, dimana sisitem ini terhubung satu sama lain dengan saluran interkoneksi 150 kV dan melayani kota-kota besar di kawasan ini. Sistem Mahakam di pasok oleh beberapa jenis pembangkit listrik yaitu PLTU, PLTG, PLTGU, PLTD, PLTMG baik yang berasal dari pemerintah maupun pihak swasta.

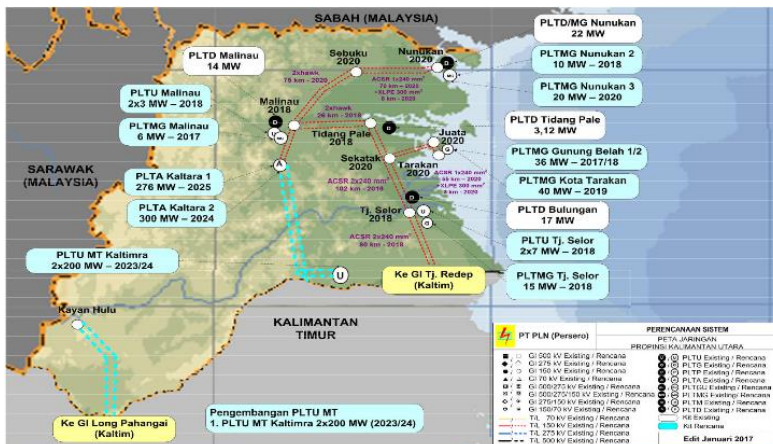
Seperti wilayah lain di kawasan Kalimantan yang pada umumnya masih sangat mengandalkan pembangkit berjenis diesel sebagai penggerak pembangkit utamanya, sistem Mahakam pun menerapkannya. Namun dalam perencanaan kelistrikan interkoneksi Kalimantan, nantinya akan dibangun beberapa pembangkit dengan sumber energi alternatif sebagai sumber utamanya. Berikut beberapa daftar jenis pembangkit baru yang akan dibangun pada wilayah Kalimantan Timur – Utara.

1. PLTU Kaltim (2 x 100 MW)
2. PLTU Kaltim 3 (200 MW)
3. PLTU Kaltim 4 (200 MW)
4. PLTU Kaltim 5 (200 MW)
5. PLTU Kaltim 6 (200 MW)
6. PLTU Kaltimra (2 x 100 MW)
7. PLTG Kaltim 2 (100 MW)

Pembangunan saluran transmsi untuk media penyaluran daya akan dibangun dengan sistem 150 kV yang meliputi keseluruhan sistem interkoneksi sitem Mahakam. Pada tahun 2026 beban puncak sistem Mahakam diperkirakan sebesar 3.393 MW, dengan rugi-rugi saluran transmsi sebesar 2,79 %[6]. Dalam gambar dibawah merupakan perencanaan pembangkitan di wilayah Kalimatan Timur – Utara.



Gambar 3.4 Peta Perencanaan Pembangunan Pembangkitan Wilayah Kalimantan Timur[6]



Gambar 3.5 Peta Perencanaan Pembangunan Pembangkitan Wilayah Kalimantan Utara[6]

3.2 Pertumbuhan Beban Kalimantan

Berdasarkan RUPTL PLN, dimana dari RUPTL tersebut memuat rencana-rencana dan strategi dari PT. PLN untuk melangsungkan usaha dalam meningkatkan maupun mengembangkan kelistrikan di seluruh wilayah Indonesia. Salah satu usaha dalam isi dari RUPTL ialah merencanakan pertumbuhan beban di wilayah Kalimantan, dimana berdasarkan data tersebut diperoleh perencanaan sebagai berikut[6].

Tabel 3.1 Asumsi Beban Regional Kalimantan

No	Tahun	Beban Kalimantan Timur- Utara (MW)	Beban Kalimantan Selatan – Tengah (MW)	Beban Kalimantan Barat (MW)
1	2016	479	617	336
2	2017	507	642	355
3	2018	564	708	394
4	2019	618	823	441
5	2020	707	900	493
6	2021	777	986	547
7	2022	863	1069	607
8	2023	954	1158	667
9	2024	1049	1250	730
10	2025	1127	1346	797
11	2026	1389	1447	863
12	2027	1475	1552	932
13	2028	1565	1661	1005
14	2029	1658	1774	1074
15	2030	1755	1890	1143
16	2031	1856	2012	1215
17	2032	1960	2137	1290
18	2033	2066	2266	1367
19	2034	2178	2399	1445
20	2035	2292	2536	1526
21	2036	2411	2681	1609
22	2037	2534	2831	1694
23	2038	2663	2986	1783
24	2039	2797	3147	1875

Tabel 3.1 Asumsi Beban Regional Kalimantan

25	2040	2937	3314	1970
26	2041	3084	3488	2069
27	2042	3237	3669	2171
28	2043	3398	3859	2278
29	2044	3566	4057	2389
30	2045	3743	4264	2504
31	2046	3928	4481	2624
32	2047	4122	4708	2749
33	2048	324	4945	2878
34	2049	4536	5192	3011
35	2050	4757	5447	3148

Dari sistem interkoneksi yang akan mulai terwujud pada tahun 2026 nantinya, dimana berdasarkan asumsi beban pada tahun tersebut maka wilayah Kalimantan Selatan-Tengah memiliki beban yang paling besar. Berdasarkan simulasi pada Digsilent *power factory* dimana daya cadangan pada wilayah Kalimantan Timur-Utara yang paling besar, sedangkan *margin reserve* yang diperbolehkan pada wilayah Kalimantan yaitu 40%[6].

Dapat diasumsikan bahwa sistem Kalimantan Timur-Utara mentransfer daya karena memiliki daya cadangan yang paling besar menuju ke sistem Kalimantan Selatan-Tengah yang memiliki beban yang paling besar sedangkan daya cadangan tidak terlalu besar. Dengan asumsi wilayah Kalimantan Timur-Utara mentransfer daya sebesar 400 MW menuju wilayah Kalimantan Selatan-Tengah, dan dari wilayah Kalimantan Selatan-Tengah ditransfer daya juga sebesar 150 MW menuju wilayah Kalimantan Barat. Sehingga apabila transfer daya dilakukan maka nilai *margin reserve* masing-masing wilayah akan lebih aman

3.3 Kapasitas Konverter

Konverter yang nantinya digunakan dalam sistem interkoneksi harus mampu mentransfer daya dengan besaran yang tetap dan dengan kontinuitas yang dapat terjaga dengan baik, maka dibutuhkanlah konverter yang sesuai dengan apa yang direncanakan. Berdasarkan simulasi di Digsilent *power factory* didapatkan rating peralatan konverter sesuai data berikut:

Sistem interkoneksi Kalimantan Timur-Utara dan Kalimantan Tengah-Selatan

AC/DC Conversion` : Line-Commutated type
 Rated Capacity : 400 MW (200 MW, 2 Units)
 DC Voltage : ± 250 kV
 Frequency : 50 Hz

Rating rectifier		Rating inverter	
Tegangan AC	306.6 kV	Tegangan AC	206.7 kV
Tegangan DC	250 kV	Tegangan DC	250 kV
Daya Aktif	200 MW	Daya Aktif	200 MW
Arus DC	800 A	Arus DC	800 A
t2/t1	0.625	t2/t1	0.927

Sistem interkoneksi Kalimantan Tengah-Selatan dan Kalimantan Barat

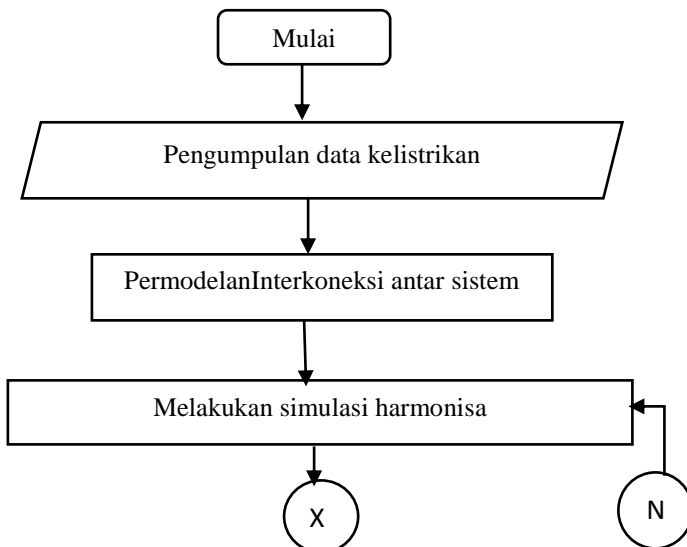
AC/DC Conversion` : Line-Commutated type
 Rated Capacity : 150 MW (75 MW, 2 Units)
 DC Voltage : ± 250 kV
 Frequency : 50 Hz

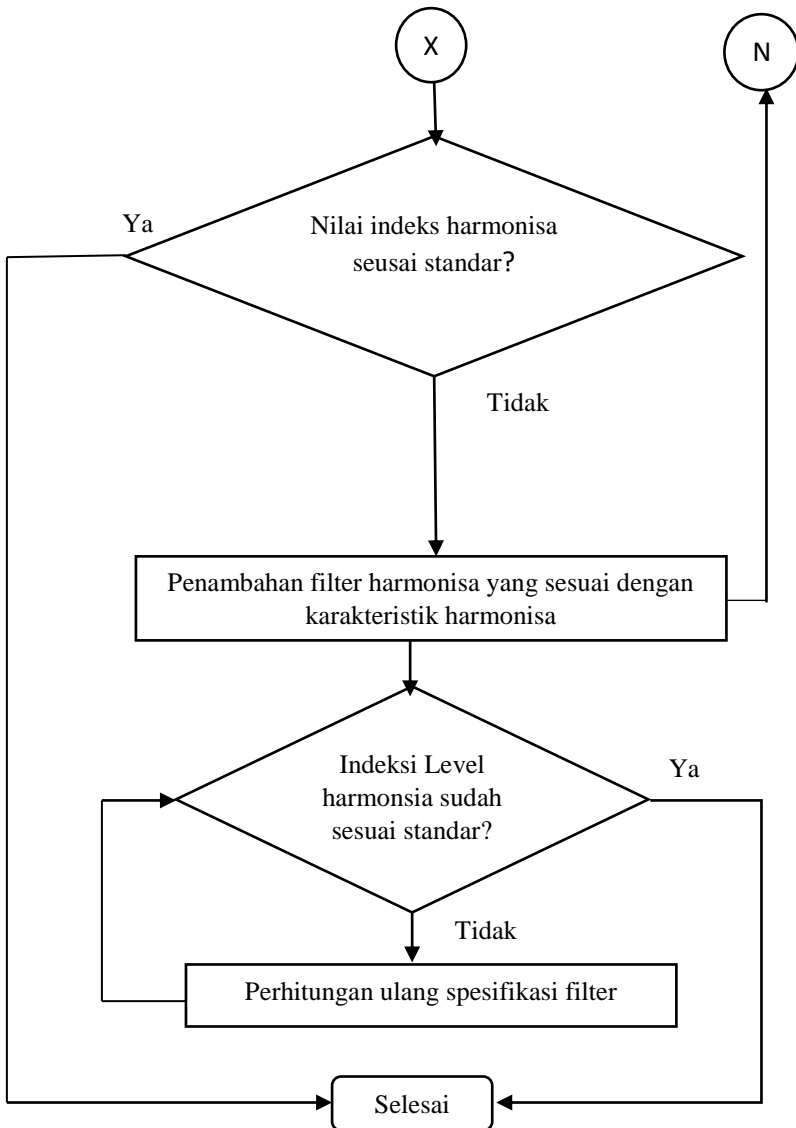
Rating rectifier		Rating inverter	
Tegangan AC	308.1kV	Tegangan AC	206.1 kV
Tegangan DC	250 kV	Tegangan DC	250 kV
Daya Aktif	75 MW	Daya Aktif	75 MW
Arus DC	300 A	Arus DC	300 A
t2/t1	0.622	t2/t1	0.93

3.4 Langkah-Langkah Peredaman Harmonisa di Interkoneksi Kalimantan

Tujuan yang diharapkan dari pengerjaan tugas akhir ini ialah melakukan studi mengenai perencanaan permodelan interkoneksi antar sistem dan studi mengenai perencanaan desain peralatan yang mampu meredam level harmonisa pada interkoneksi sistem kelistrikan Kalimantan. Metode yang digunakan dalam melakukan penelitian ini dengan melengkapi data *Single Line Diagram* (SLD) Kalimantan Barat, Kalimantan Selatan – Tengah, Kalimantan Timur – Utara. Kemudian melakukan permodelan sistem interkoneksi antar kawasan di Kalimantan pada *software* Digsilent Power Factory 15.1.7. setelah itu melakukan simulasi aliran daya dan harmonisa pada sistem terinterkoneksi di wilayah Kalimantan.

Berdasarkan hasil simulasi akan didapatkan profil tegangan dan faktor daya pada sistem ter-interkoneksi, yang nantinya akan menentukan bagaimana langkah yang tepat untuk mengatasi sistem yang bermasalah. Sedangkan pada analisa harmonisa akan didapatkan level harmonisa, nilai total harmonisa, dan nilai individu tiap harmonisa. Alur metedologi dalam peredaman harmonisa pada sistem interkoneksi sebagai berikut.





Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini dengan sistem kelistrikan sebagai sumber data utama, berfokus pada penurunan level harmonisa yang disebabkan dari peralatan power elektronik yang ada. Untuk melakukan simulasi yang telah disebutkan maka diperlukan tahapan proses yang ditentukan agar tujuan dari penelitian ini dapat terselesaikan, berikut merupakan tahapan yang akan dilakukan.

Melakukan perencanaan interkoneksi yang menghubungkan berbagai sistem kelistrikan yang ada di Kalimantan dengan koneksi HVDC. Kemudian dilakukan simulasi harmonisa pada bus-bus AC yang terhubung dengan interkoneksi tegangan tinggi DC. Apabila hasil simulasi menghasilkan nilai yang tidak sesuai standar harmonisa, maka akan direncanakan pemasangan filter pasif pada bus-bus AC. Dan langkah terakhir perbandingan hasil antara sebelum dan sesudah pemasangan filter.

4.1 Simulasi Harmonisa

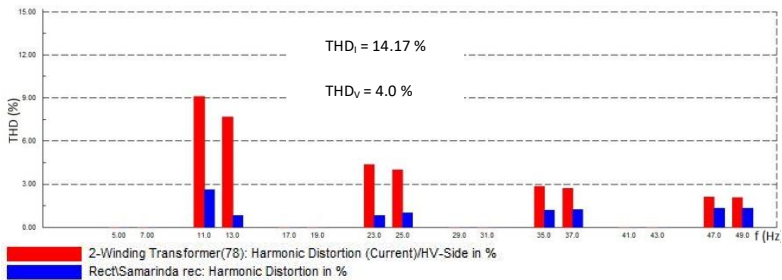
Berdasarkan hasil simulasi menggunakan *software* Digsilent Power Factory pada sistem interkoneksi yang telah dikerjakan didapatkan hasil simulasi harmonisa pada bus-bus AC terhubung dengan transmisi HVDC, dimana sumber harmonisa dari sistem HVDC sendiri berasal dari konverter 12 pulsa. Berikut merupakan tabel dan gambar rincian dari hasil simulasi harmonisa pada bus dan saluran yang terhubung dengan sumber harmonisa.

Tabel 4.1 Hasil Simulasi Harmonisa Tegangan Terdistorsi

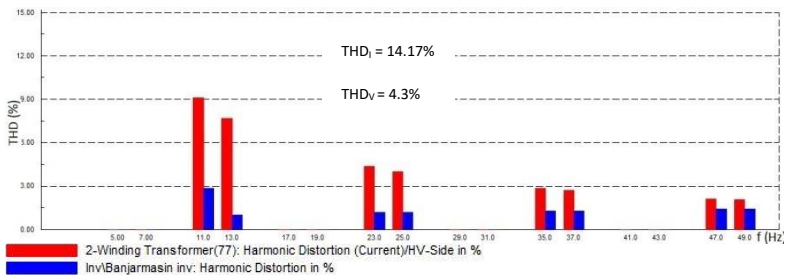
No	Nama Bus	Nom. kV	Indeks THD _v (%)	Standar THD _v (%)
1	Samarinda Rec.	345	4.0	1.5
2	Banjarmasin Inv.	230	4.3	1.5
3	Banjarmasin Rec.	345	3.6	1.5
4	Sei Raya Inv.	230	4.5	1.5

Tabel 4.2 Hasil Simulasi Harmonisa Arus Terdistorsi

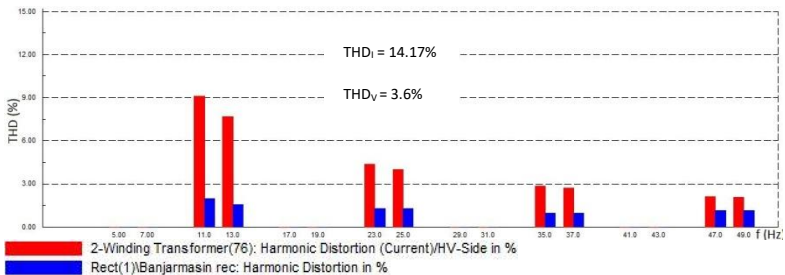
No	Nama Bus	Isc (kA)	IL (kA)	Isc/IL	Indeks THD _I (%)	Standar THD _I (%)
1	Samarinda Rec.	16.14	0.79	20.43	14.17	8
2	Banjarmasin Inv.	20.48	1.13	18.12	14.17	5
3	Banjarmasin Rec.	12.64	0.3	42.13	14.17	8
4	Pontianak Inv.	12.84	0.43	29.86	14.17	8



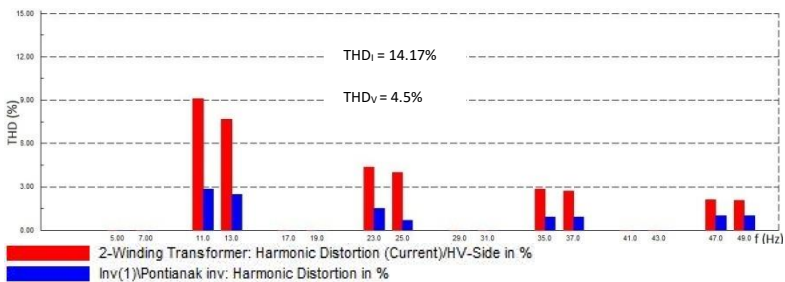
Gambar 4.1 Spektrum Harmonisa Pada Bus Samarinda Rec



Gambar 4.2 Spektrum Harmonisa Pada Bus Banjarmasin Inv



Gambar 4.3 Spektrum Harmonisa Pada Bus Banjarmasin Rec



Gambar 4.4 Spektrum Harmonisa Pada Bus Pontianak Inv

Dari data tabel 4.1 dan gambar 4.1-4.4 diatas dapat terlihat bahwa nilai harmonisa pada bus dan saluran yang terhubung langsung dengan sumber harmonisa baik bearnya harmonisa tegangan dan bearnya harmonisa arus masih dalam keadaan yang tidak sesuai dengan indeks standar harmonisa yang diperbolehkan sesuai IEEE Std 519-1992.

Maka dari itu pemasangan filter pada bus-bus dekat sumber harmonisa diperlukan baik berfungsi sebagai penghilang distorsi harmonisa, tetapi juga dapat berfungsi sebagai pengompensasi daya reaktif. Filter pasif tersusun atas komponen pasif resistor, induktor, dan kapasitor, dalam hal ini kapasitor dapat berfungsi sebagai kompensator daya reaktif yang nantinya daya reaktif terebut digunakan konverter untuk dapat bekerja menyalurkan daya aktif dari rectifier menuju inverter.

4.2 Perhitungan Spesifikasi Filter

Dalam hal melakukan perencanaan filter pasif pada sistem kelistrikan HVDC, guna untuk mengurangi harmonisa yang ada maka dibutuhkan beberapa jenis filter yang digunakan untuk mendapatkan hasil yang sesuai standard antidak hanya 1 jenis filter yang digunakan. Filter yang nantinya akan digunakan yaitu *single tuned filter* dan *C type filter*. Penggunaan filter jenis *single tuned* dikarenakan secara efektif mengurangi nilai harmonisa pada frekuensi tertentu dengan cara menghasilkan impedansi yang rendah pada frekuensi tuningnya, dan penggunaan *high pas filter* filter jenis C dikarenakan sangat efektif untuk mengurangi harmonisa pada jagkauan range yang besar dikarenakan dengan rendahnya nilai faktor kualitas[7], selain itu penggunaan filter *high pass filter* tipe C dipilih ialah pada perbedaan *high pass filter* tipe C dengan *high pass filter* tipe lainnya ialah pada susunannya, dimana filter HPF tipe C adanya modifikasi dengan penambahan kapasitor yang tersusun seri dengan induktor dan dituning pada frekuensi fundamentalnya. Sehingga pada frekuensi fundamentalnya rugi-rugi dibagian resistif filter akan lebih kecil karena arus yang lewat juga akan lebih kecil. Selain untuk mengurangi nilai harmonisa dengan cara menyerap arus harmonisa, filter pasif pada sistem transmisi HVDC juga digunakan untuk kompensasi daya reaktif yang digunakan oleh konverter untuk dapat beroperasi.

Sebelum merencanakan filter pasif, terlebih dahulu untuk mengetahui karakteristik impedasi dari filter *single tuned filter* dan *C type high pass filter*, kemudian mengetahui besran indeks harmonisa dari bus-bus yang akan dipasang filter, dan terakhir pemilihan orde frekuensi yang akan dihilangkan/dikurangi sebagai frekuensi tuning. Perhitungan komponen filter sebagai berikut

$$Q_{tot} = P \times \tan\phi \quad (4.1)$$

Dengan besaran daya reaktif yang dibutuhkan oleh konverter agar dapat bekerja dengan baik sesuai persamaan (4.1). Dimana ϕ adalah beda fasa antara tegangan dan arus pada frekuensi fundamentalnya

$$Q_i = Q_{tot} \times \frac{I_{h/h}}{\sum_{n=1}^m I_{n/n}} \quad (4.2)$$

Dengan Q_i besaran daya reaktif yang dibutuhkan saat frekuensi orde I dengan besar sesuai persamaan (4.2), I_h ialah arus harmonisa yang harus difilter dan h merupakan orde harmonisa, sedangkan $\sum_{n=1}^m I_n/n$ ialah perbandingan total arus harmonisa dan orde frekuensinya.

Sehingga desain filter untuk single tuned filternya

$$C = \frac{Q_i}{Vl-l^2xw_o} \quad (4.3)$$

$$L = \frac{1}{w_n^2xc} \quad (4.4)$$

$$Xl = Xc = Xo \quad (4.5)$$

$$R = \frac{X_o}{Q} \quad (4.6)$$

Dengan besaran komponen masing-masing C, L, dan R sesuai dengan persamaan (4.3) – (4.6), dan nilai q antara 30-60, semakin besar nilai q maka resistansi induktor akan semakin kecil sehingga rugi-rugi juga semakin kecil, namun dengan nilai q yang besar akan mengakibatkan filter mempunyai *bandwidth* yang rendah sehingga sangat sensitif dengan variasi frekuensi[7].

Desain filter tipe C damped filter

$$C_2 = \frac{Q}{w_o \times v^2} \quad (4.7)$$

$$C_1 = C_2(n^2 - 1) \quad (4.8)$$

$$L = \frac{1}{w_o^2xc_1} \quad (4.9)$$

$$R = \frac{q v^2}{n \times Q} \quad (4.10)$$

Desain filter damped dengan besaran-besaran komponennya sesuai dengan persamaan (4.7) – (4.10) dan dapat digunakan untuk mereduksi harmonisa dengan menghilangkan filter di orde ke 11 dan ke 13 dengan didesain tuning pada orde ke 12 dan kualitas faktor antara 20-50, namun damped filter pada frekuensi yang lebih besar digunakanlah nilai faktor kualitas antara 2-4, untuk mengurangi harmonisa pada orde frekuensi yang lebih besar[8]

4.2.1 Desain Filter Pasif

4.2.1.1. Samarinda Rec.

Daya reaktif yang diperlukan Rectifier ialah

$$Q_{tot} = P \times \tan \phi$$

$$Q_{tot} = 406 \times \tan 30$$

$$Q_{tot} = 234.4 \cong 235 \text{ MVAR}$$

Besaran daya reaktif yang dibutuhkan konverter sebesar Q_{tot}

1. *Single Tuned Filter Orde 11*

$$Q_i = Q_{tot} \times \frac{I_h/h}{\sum_{n=1}^m I_n/n}$$

$$Q_i = 235 \times \frac{72/11}{\left(\frac{72}{11} + \frac{61}{13} + \frac{34}{23} + \frac{32}{25} + \frac{23}{35} + \frac{21}{37} + \frac{17}{47} + \frac{16}{49}\right)}$$

$$Q_i = 96.7 \text{ MVAR}$$

Dengan Q_i ialah daya reaktif yang diperlukan filter *single tuned*. Dan pemilihan nilai kualitas faktor $q = 45$.

Untuk besaran spesifikasi filternya sebagai berikut

$$C = \frac{Q_i}{Vl - l^2 \times \omega_o}$$

$$C = \frac{96.7}{345^2 \times 2\pi f_0}$$

$$C = 2.59 \mu F$$

$$L = \frac{1}{\omega_n^2 \times C}$$

$$L = \frac{1}{(2\pi \times 550)^2 \times 2.59}$$

$$L = 32.4 \text{ mH}$$

$$Xl = Xc = Xo$$

$$Xl = 2\pi f_n L$$

$$Xl = 2\pi \times 550 \times 32.4$$

$$Xl = 111.9 \Omega$$

$$R = \frac{X_o}{Q}$$

$$R = \frac{111.9}{45}$$

$$R = 2.49 \Omega$$

2. *Single Tuned Filter Orde 13*

$$Q_i = Q_{tot} \times \frac{I_h/h}{\sum_{n=1}^m I_n/n}$$

$$Q_i = 235 \times \frac{61/13}{\left(\frac{72}{11} + \frac{61}{13} + \frac{34}{23} + \frac{32}{25} + \frac{23}{35} + \frac{21}{37} + \frac{17}{47} + \frac{16}{49}\right)}$$

$$Q_i = 69.2 \text{ MVAR}$$

Dengan Q_i ialah daya reaktif yang diperlukan filter *single tuned*.

Untuk besaran spesifikasi filternya sebagai berikut

$$C = \frac{Q_i}{Vl - l^2 \times w_o}$$

$$C = \frac{69.2}{345^2 \times 2\pi 50}$$

$$C = 1.85 \mu F$$

$$L = \frac{1}{\omega_n^2 \times C}$$

$$L = \frac{1}{(2\pi \times 650)^2 \times 1.85}$$

$$L = 32.4 \text{ mH}$$

$$Xl = Xc = Xo$$

$$Xl = 2\pi f_n L$$

$$Xl = 2\pi \times 650 \times 32.4$$

$$Xl = 132.26 \Omega$$

$$R = \frac{X_0}{Q}$$

$$R = \frac{132.26}{45}$$

$$R = 2.94 \Omega$$

3. **C – HPF Tunning Orde 24**

$$Q_i = 69.1 \text{ MVAR}$$

$$q = 4$$

Dengan Q_i ialah daya reaktif yang diperlukan filter *high pass tipe C* dan q nilai kualitas faktor yang dipilih

Spesifikasi dari filter C HPF

$$C_2 = \frac{69.1}{2\pi \times 50 \times 345^2}$$

$$C_2 = 1.85 \mu F$$

$$C_1 = C_2(n^2 - 1)$$

$$C_1 = 1.85(24^2 - 1)$$

$$C_1 = 1063 \mu F$$

$$L = \frac{1}{w_o^2 \times c_1}$$

$$L = \frac{1}{(2\pi \times 50)^2 \times 1063}$$

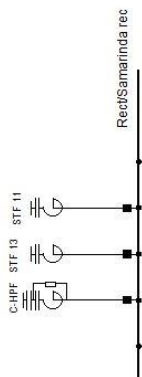
$$L = 9.54 \text{ mH}$$

$$R = \frac{4 \times 345^2}{24 \times 69.1}$$

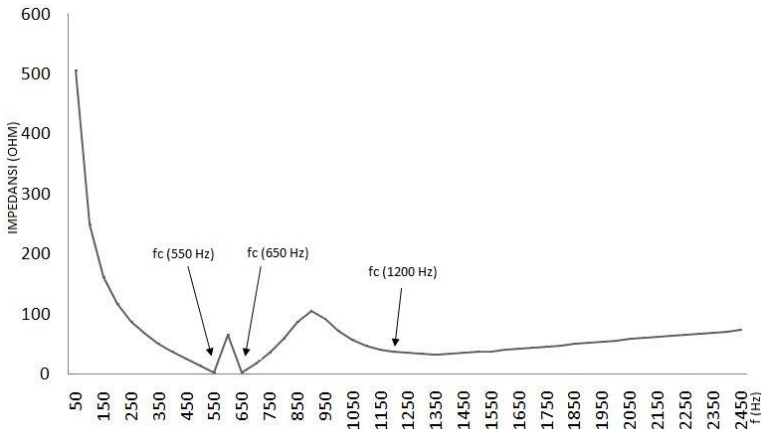
$$R = 287.1 \Omega$$

Tabel 4.3 Spesifikasi Filter Pada Bus Samarinda Rec

Nama Bus	Tipe	q	Orde	V (kV)	C (μF)	L (mH)	R (Ω)
Samarinda Rec	STF	45	11	345	2.59	32.4	2.5
	STF	45	13	345	1.85	32.4	2.9
	C-HPF	4	24	345	C ₁ = 1063 C ₂ = 1.85	9.54	287

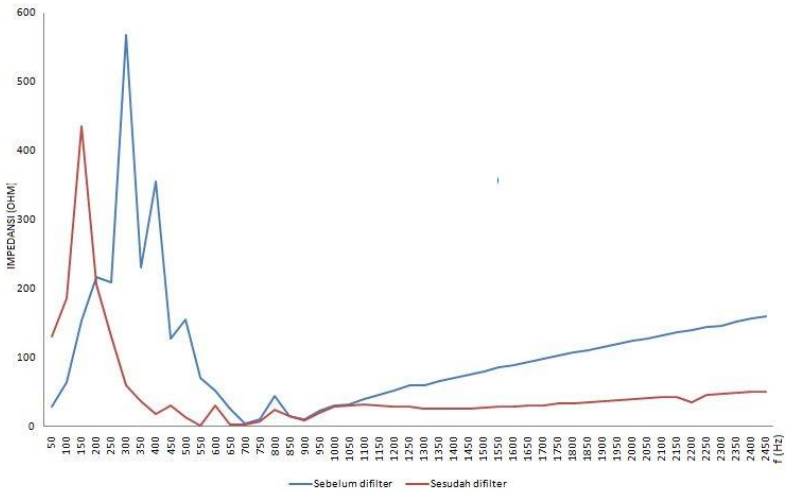


Gambar 4.5 Ilustrasi Pemasangan Filter Pada Bus Samarinda Rec



Gambar 4.6 Kurva Impedansi Filter Bus Samarinda Rec

Data tabel 4.3 merupakan hasil perhitungan secara teoritis untuk spesifikasi filter yang nantinya ditempatkan pada bus Samarinda Rec, gambar 4.5 merupakan ilustrasi pemasangan filter pada bus Samarinda Rec dan gambar 4.6 merupakan kurva impedansi filter pada bus Samarinda Rec, dimana sesuai gambar kurva tersebut akan menghasilkan impedansi yang sangat rendah pada frekuensi 550 Hz dan 650 Hz sesuai dengan teori bahwa filter jenis *single tuned* akan menghasilkan impedansi yang rendah pada frekuensi tuningnya. Dan filter *high pass filter* tipe C akan mampu mereduksi harmonisa pada cakupan range yang besar terlihat dari gambar kurva dimana impedansi yang dihasilkan cukup rendah, sehingga akan mampu melewatkan arus harmonisa yang cukup besar



Gambar 4.7 Kurva Impedansi Bus Samarinda Rec Sebelum Dan Sesudah Difilter

Gambar 4.7 merupakan kurva impedansi sistem kelisrikan Kalimantan Timur sebelum dan sesudah dipasang filter dan diukur pada Bus Samarinda Rec. Pada gambar tersebut menjelaskan dimana pengaruh pemasangan filter akan menyebabkan penurunan nilai impedansi sistem, dikarenakan filter sendiri sudah menghasilkan impedansinya sendiri dan mampu mengurangi impedansi sistem secara keseluruhan

4.2.1.2. Banjarmasin Inv.

Daya reaktif yang diperlukan Inverter ialah

$$Q_{tot} = P \times \tan \phi$$

$$Q_{tot} = 396 \times \tan 30$$

$$Q_{tot} = 228.6 \cong 229 \text{ MVAR}$$

Besaran daya reaktif yang dibutuhkan konverter sebesar Q_{tot}

1. *Single Tuned Filter Orde 11*

$$Q_i = Q_{tot} \times \frac{I_h/h}{\sum_{n=1}^m I_n/n}$$

$$Q_i = 229 \times \frac{103/11}{\left(\frac{103}{11} + \frac{87}{13} + \frac{49}{23} + \frac{45}{25} + \frac{32}{35} + \frac{31}{37} + \frac{26}{47} + \frac{23}{49}\right)}$$

$$Q_i = 94.04 \text{ MVAR}$$

Dengan Q_i ialah daya reaktif yang diperlukan filter *single tuned*. Dan pemilihan nilai kualitas faktor $q = 45$.

Untuk besaran spesifikasi filternya sebagai berikut

$$C = \frac{Q_i}{Vl - l^2 \times w_o}$$

$$C = \frac{94.04}{230^2 \times 2\pi 50}$$

$$C = 5.66 \mu F$$

$$L = \frac{1}{w_n^2 \times C}$$

$$L = \frac{1}{(2\pi \times 550)^2 \times 5.66}$$

$$L = 14.8 \text{ mH}$$

$$Xl = Xc = Xo$$

$$Xl = 2\pi f_n L$$

$$Xl = 2\pi \times 550 \times 14.8$$

$$Xl = 51.14$$

$$R = \frac{X_o}{q}$$

$$R = \frac{51.4}{45}$$

$$R = 1.14 \Omega$$

2. *Single Tuned Filter Orde 13*

$$Q_i = Q_{tot} \times \frac{I_h/h}{\sum_{n=1}^m I_n/n}$$

$$Q_i = 229 \times \frac{103/11}{\left(\frac{103}{11} + \frac{87}{13} + \frac{49}{23} + \frac{45}{25} + \frac{32}{35} + \frac{31}{37} + \frac{26}{47} + \frac{23}{49}\right)}$$

$$Q_i = 67.32 \text{ MVAR}$$

Dengan Q_i ialah daya reaktif yang diperlukan filter *single tuned*. Dan pemilihan nilai kualitas faktor $q = 45$.

Untuk besaran spesifikasi filternya sebagai berikut

$$C = \frac{Q_i}{Vl - l^2 \times w_o}$$

$$C = \frac{67.32}{230^2 \times 2\pi 50}$$

$$C = 4.0 \mu F$$

$$L = \frac{1}{w_n^2 \times C}$$

$$L = \frac{1}{(2\pi \times 650)^2 \times 4.0}$$

$$L = 14.8 \text{ mH}$$

$$Xl = Xc = Xo$$

$$Xl = 2\pi f_n L$$

$$Xl = 2\pi \times 650 \times 14.8$$

$$Xl = 60.4 \Omega$$

$$R = \frac{X_0}{Q}$$

$$R = \frac{60.4}{45}$$

$$R = 1.34 \Omega$$

3. *C – HPF Tunning Orde 24*

$$Q_i = 67.64 \text{ MVAR}$$

$$q = 4$$

Dengan Q_i ialah daya reaktif yang diperlukan filter *high pass tipe C* dan q nilai kualitas faktor yang dipilih

Spesifikasi dari filter C HPF

$$C_2 = \frac{67.64}{2\pi \times 50 \times 230^2}$$

$$C_2 = 4.1 \mu F$$

$$C_1 = C_2(n^2 - 1)$$

$$C_1 = 4.1 (24^2 - 1)$$

$$C_1 = 2341 \mu F$$

$$L = \frac{1}{\omega_o^2 \times C_1}$$

$$L = \frac{1}{(2\pi \times 50)^2 \times 2341}$$

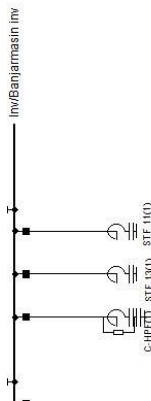
$$L = 4.32 \text{ mH}$$

$$R = \frac{4 \times 230^2}{24 \times 67.64}$$

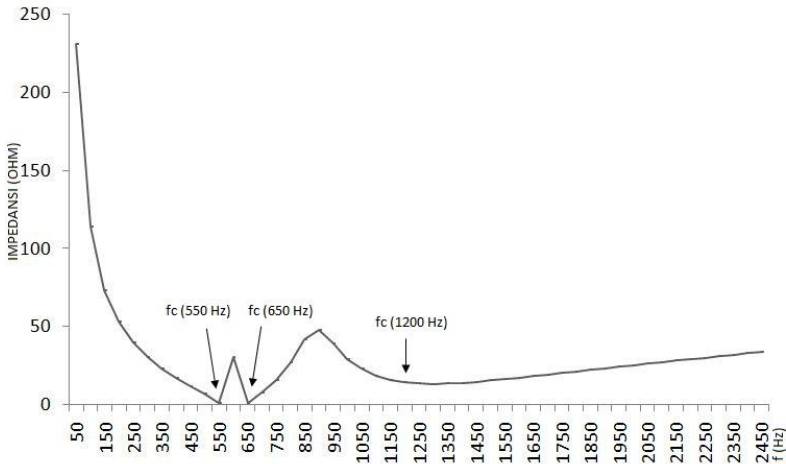
$$R = 130.4 \cong 130 \Omega$$

Tabel 4.4 Spesifikasi Filter Pada Bus Banjarmasin Inv

Nama Bus	Tipe	q	Orde	V (kV)	C (μF)	L (mH)	R (Ω)
Banjar masin Inv	STF	45	11	230	5.66	14.8	1.14
	STF	45	13	230	4.0	14.8	1.34
	C-HPF	4	24	230	C ₁ = 2341 C ₂ = 4.1	4.32	130

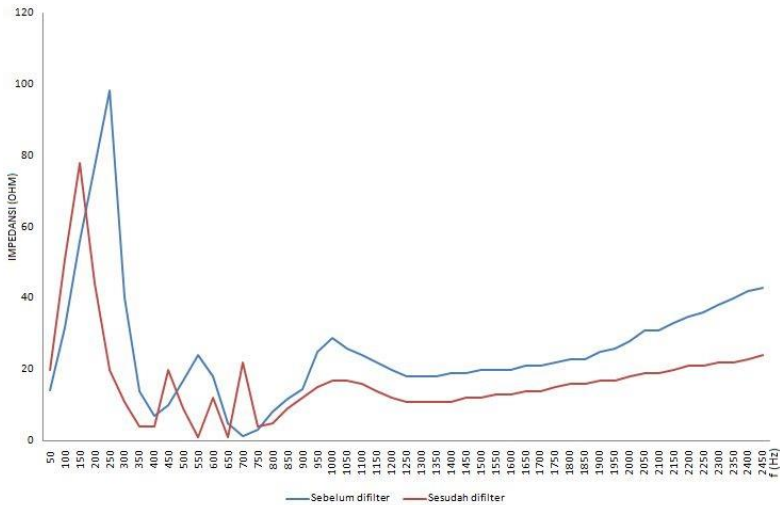


Gambar 4.8 Ilustrasi Pemasangan Filter Pada Bus Banjarmasin Inv



Gambar 4.9 Kurva Impedansi Filter Bus Banjarmasin Inv

Data tabel 4.4 merupakan hasil perhitungan secara teoritis untuk spesifikasi filter yang nantinya ditempatkan pada bus Banjarmasin Inv, gambar 4.8 merupakan ilustrasi pemasangan filter pada bus Banjarmasin Inv dan gambar 4.9 merupakan kurva impedansi filter pada bus Banjarmasin Inv, dimana sesuai gambar kurva tersebut akan menghasilkan impedansi yang sangat rendah pada frekuensi 550 Hz dan 650 Hz sesuai dengan teori bahwa filter jenis *single tuned* akan menghasilkan impedansi yang rendah pada frekuensi tuningnya. Dan filter *high pass filter* tipe C akan mampu mereduksi harmonisa pada cakupan range yang besar terlihat dari gambar kurva dimana impedansi yang dihasilkan cukup rendah, sehingga akan mampu melewati arus harmonisa yang cukup besar



Gambar 4.10 Kurva Impedansi Bus Banjarmasin Inv Sebelum Dan Sesudah Difilter

Gambar merupakan kurva impedansi sistem kelisrikan Kalimantan Selatan-Tengah sebelum dan sesudah dipasang filter dan diukur pada Bus Banjarmasin Inv. Pada gambar tersebut menjelaskan dimana pengaruh pemasangan filter akan menyebabkan penurunan nilai impedansi sistem, dikarenakan filter sendiri sudah menghasilkan impedansinya sendiri dan mampu mengurangi impedansi sistem secara keseluruhan

4.2.1.3. Banjarmasin Rec.

Daya reaktif yang diperlukan Inverter ialah

$$Q_{tot} = P \times \tan \phi$$

$$Q_{tot} = 151.5 \times \tan 30$$

$$Q_{tot} = 87.5 \text{ MVAR}$$

Besaran daya reaktif yang dibutuhkan konverter sebesar Q_{tot}

1. *Single Tuned Filter Orde 11*

$$Q_i = Q_{tot} \times \frac{I_h/h}{\sum_{n=1}^m I_n/n}$$

$$Q_i = 87.5 \times \frac{27/11}{\left(\frac{27}{11} + \frac{23}{13} + \frac{13}{23} + \frac{12}{25} + \frac{8}{35} + \frac{8}{37} + \frac{6}{47} + \frac{6}{49}\right)}$$

$$Q_i = 36 \text{ MVAR}$$

Dengan Q_i ialah daya reaktif yang diperlukan filter *single tuned*. Dan pemilihan nilai kualitas faktor $q = 45$.

Untuk besaran spesifikasi filternya sebagai berikut

$$C = \frac{Q_i}{Vl - l^2 \times w_o}$$

$$C = \frac{36}{345^2 \times 2\pi 50}$$

$$C = 0.96 \mu F$$

$$L = \frac{1}{w_n^2 \times C}$$

$$L = \frac{1}{(2\pi \times 550)^2 \times 0.96}$$

$$L = 87 \text{ mH}$$

$$Xl = Xc = Xo$$

$$Xl = 2\pi f_n L$$

$$Xl = 2\pi \times 550 \times 87$$

$$Xl = 300.5 \Omega$$

$$R = \frac{X_o}{q}$$

$$R = \frac{300.5}{45}$$

$$R = 6.7 \Omega$$

2. *Single Tuned Filter Orde 13*

$$Q_i = Q_{tot} \times \frac{I_h/h}{\sum_{n=1}^m I_n/n}$$

$$Q_i = 87.5 \times \frac{23/13}{\left(\frac{27}{11} + \frac{23}{13} + \frac{13}{23} + \frac{12}{25} + \frac{8}{35} + \frac{8}{37} + \frac{6}{47} + \frac{6}{49}\right)}$$

$$Q_i = 25.77 \text{ MVAR}$$

Dengan Q_i ialah daya reaktif yang diperlukan filter *single tuned*. Dan pemilihan nilai kualitas faktor $q = 45$.

Untuk besaran spesifikasi filternya sebagai berikut

$$C = \frac{Q_i}{Vl - l^2 \times w_o}$$

$$C = \frac{25.77}{345^2 \times 2\pi 50}$$

$$C = 0.69 \mu F$$

$$L = \frac{1}{w_n^2 \times C}$$

$$L = \frac{1}{(2\pi \times 650)^2 \times 0.69}$$

$$L = 87 \text{ mH}$$

$$Xl = Xc = Xo$$

$$Xl = 2\pi f_n L$$

$$Xl = 2\pi \times 650 \times 87$$

$$Xl = 355.3 \Omega$$

$$R = \frac{X_0}{Q}$$

$$R = \frac{355.3}{45}$$

$$R = 7.9 \, \Omega$$

3. C - HPF Tunning Orde 24

$$Q_i = 25.73 \, \text{MVAR}$$

$$q = 4$$

Dengan Q_i ialah daya reaktif yang diperlukan filter *high pass tipe C* dan q nilai kualitas faktor yang dipilih

Spesifikasi dari filter C HPF

$$C_2 = \frac{25.73}{2\pi \times 50 \times 345^2}$$

$$C_2 = 0.69 \, \mu\text{F}$$

$$C_1 = C_2(n^2 - 1)$$

$$C_1 = 0.46(24^2 - 1)$$

$$C_1 = 396 \, \mu\text{F}$$

$$L = \frac{1}{\omega_o^2 \times C_1}$$

$$L = \frac{1}{(2\pi \times 50)^2 \times 396}$$

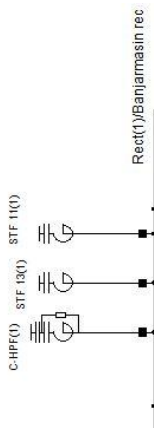
$$L = 25.6 \, \text{mH}$$

$$R = \frac{4 \times 345^2}{24 \times 25.73}$$

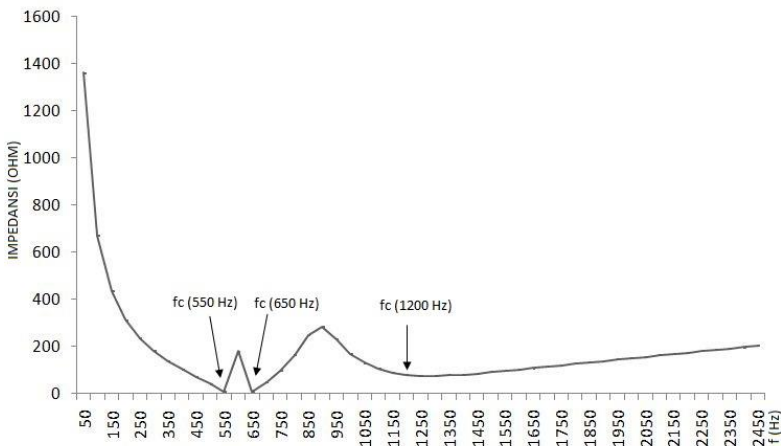
$$R = 771 \, \Omega$$

Tabel 4.5 Spesifikasi Filter Pada Bus Banjarmasin Rec

Nama Bus	Tipe	q	Orde	V (kV)	C (μF)	L (mH)	R (Ω)
Banjarmasin Rec	STF	45	11	345	0.96	87	6.7
	STF	45	13	345	0.69	87	7.9
	C-HPF	4	24	345	C ₁ = 396 C ₂ = 0.69	25.6	771



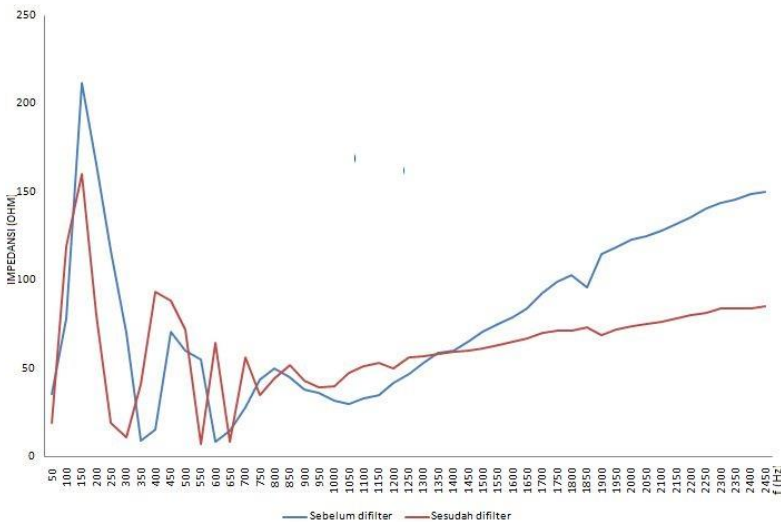
Gambar 4.11 Ilustrasi Pemasangan Filter Pada Bus Banjarmasin Rec



Gambar 4.12 Kurva Impedansi Filter Bus Banjarmasin Rec

Data tabel 4.5 merupakan hasil perhitungan secara teoritis untuk spesifikasi filter yang nantinya ditempatkan pada bus Banjarmasin Rec, gambar 4.11 yang mana merupakan ilustrasi pemasangan filter pada Bus Banjarmasin Rec dan gambar 4.12 merupakan kurva impedansi filter pada bus Samarinda Rec, dimana sesuai gambar kurva tersebut akan menghasilkan

impedansi yang sangat rendah pada frekuensi 550 Hz dan 650 Hz sesuai dengan teori bahwa filter jenis *single tuned* akan menghasilkan impedansi yang rendah pada frekuensi tuningnya. Dan filter *high pass filter* tipe C akan mampu mereduksi harmonisa pada cakupan range yang besar terlihat dari gambar kurva dimana impedansi yang dihasilkan cukup rendah, sehingga akan mampu melewati arus harmonisa yang cukup besar



Gambar 4.13 Kurva Impedansi Bus Banjarmasin Rec Sebelum Dan Sesudah Difilter

Gambar merupakan kurva impedansi sistem kelisrikan Kalimantan Selatan-Tengah sebelum dan sesudah dipasang filter dan diukur pada Bus Banjarmasin Rec. Pada gambar tersebut menjelaskan dimana pengaruh pemasangan filter akan menyebabkan penurunan nilai impedansi sistem, dikarenakan filter sendiri sudah menghasilkan impedansinya sendiri dan mampu mengurangi impedansi sistem secara keseluruhan

4.2.1.4. Pontianak Inv.

Daya reaktif yang diperlukan Inverter ialah

$$Q_{tot} = P \times \tan \phi$$

$$Q_{tot} = 148.5 \times \tan 30$$

$$Q_{tot} = 86 \text{ MVAR}$$

Besaran daya reaktif yang dibutuhkan konverter sebesar Q_{tot}

1. *Single Tuned Filter Orde 11*

$$Q_i = Q_{tot} \times \frac{I_h/h}{\sum_{n=1}^m I_n/n}$$

$$Q_i = 86 \times \frac{39/11}{\left(\frac{39}{11} + \frac{33}{13} + \frac{18}{23} + \frac{17}{25} + \frac{12}{35} + \frac{11}{37} + \frac{9}{47} + \frac{9}{49}\right)}$$

$$Q_i = 35.38 \text{ MVAR}$$

Dengan Q_i ialah daya reaktif yang diperlukan filter *single tuned*. Dan pemilihan nilai kualitas faktor $q = 45$.

Untuk besaran spesifikasi filternya sebagai berikut

$$C = \frac{Q_i}{Vl - l^2 \times w_o}$$

$$C = \frac{35.38}{230^2 \times 2\pi 50}$$

$$C = 2.1 \mu F$$

$$L = \frac{1}{w_n^2 \times C}$$

$$L = \frac{1}{(2\pi \times 550)^2 \times 2.1}$$

$$L = 39.4 \text{ mH}$$

$$Xl = Xc = Xo$$

$$Xl = 2\pi f_n L$$

$$Xl = 2\pi \times 550 \times 39.4$$

$$Xl = 136$$

$$R = \frac{X_0}{Q}$$

$$R = \frac{136}{45}$$

$$R = 3 \Omega$$

2. *Single Tuned Filter Orde 13*

$$Q_i = Q_{tot} \times \frac{I_h/h}{\sum_{n=1}^m I_n/n}$$

$$Q_i = 86 \times \frac{33/13}{\left(\frac{39}{11} + \frac{33}{13} + \frac{18}{23} + \frac{17}{25} + \frac{12}{35} + \frac{11}{37} + \frac{9}{47} + \frac{9}{49}\right)}$$

$$Q_i = 25.33 \text{ MVAR}$$

Dengan Q_i ialah daya reaktif yang diperlukan filter *single tuned*. Dan pemilihan nilai kualitas faktor $q = 45$.

Untuk besaran spesifikasi filternya sebagai berikut

$$C = \frac{Q_i}{Vl - l^2 \times w_o}$$

$$C = \frac{25.33}{230^2 \times 2\pi 50}$$

$$C = 1.52 \mu F$$

$$L = \frac{1}{w_n^2 \times C}$$

$$L = \frac{1}{(2\pi \times 650)^2 \times 1.52}$$

$$L = 39.4 \text{ mH}$$

$$Xl = Xc = Xo$$

$$Xl = 2\pi f_n L$$

$$Xl = 2\pi \times 650 \times 39.4$$

$$Xl = 161 \Omega$$

$$R = \frac{X_0}{Q}$$

$$R = \frac{161}{45}$$

$$R = 3.6 \Omega$$

3. *C – HPF Tunning Orde 24*

$$Q_i = 25.29 \text{ MVAR}$$

$$q = 4$$

Dengan Q_i ialah daya reaktif yang diperlukan filter *high pass tipe C* dan q nilai kualitas faktor yang dipilih

Spesifikasi dari filter C HPF

$$C_2 = \frac{25.29}{2\pi \times 50 \times 230^2}$$

$$C_2 = 1.52 \mu\text{F}$$

$$C_1 = C_2(n^2 - 1)$$

$$C_1 = 1.52(24^2 - 1)$$

$$C_1 = 875 \mu\text{F}$$

$$L = \frac{1}{\omega_o^2 \times C_1}$$

$$L = \frac{1}{(2\pi \times 50)^2 \times 875}$$

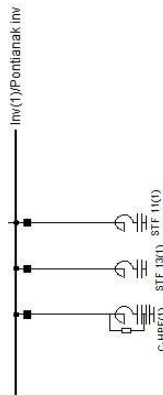
$$L = 11.6 \text{ mH}$$

$$R = \frac{4 \times 230^2}{24 \times 25.23}$$

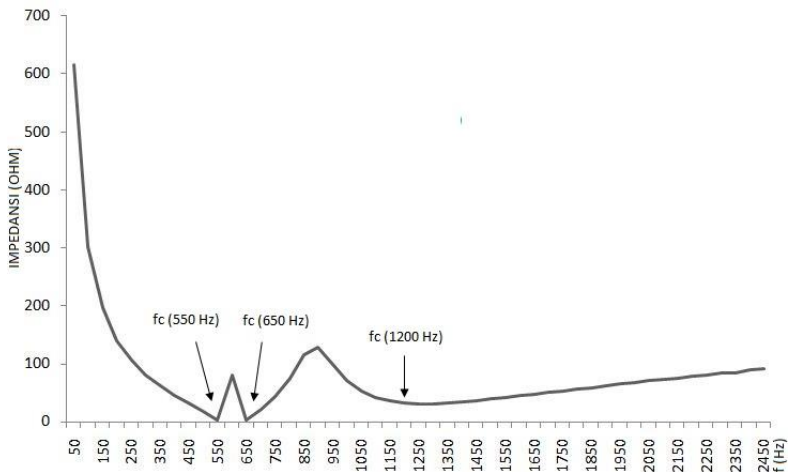
$$R = 349$$

Tabel 4.6 Spesifikasi Filter Pada Bus Pontianak Inv.

Nama Bus	Tipe	q	Orde	V (kV)	C (μF)	L (mH)	R (Ω)
Pontianak Inv	STF	45	11	230	2.1	39.3	3.0
	STF	45	13	230	1.52	39.3	3.6
	C-HPF	4	24	230	C ₁ = 875 C ₂ = 1.52	11.6	349

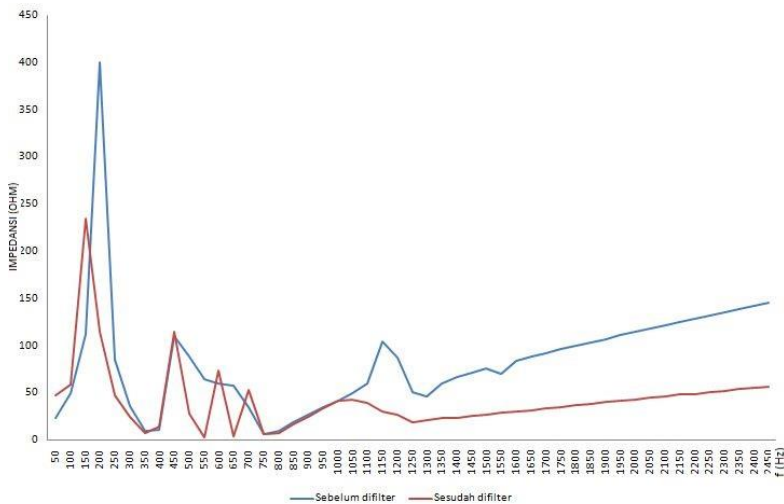


Gambar 4.14 Ilustrasi Pemasangan Filter Pada Bus Pontianak Inv



Gambar 4.15 Kurva Impedansi Filter Bus Pontianak Inv

Data tabel 4.6 merupakan hasil perhitungan secara teoritis untuk spesifikasi filter yang nantinya ditempatkan pada bus Pontianak Inv, gambar 4.14 merupakan ilustrasi pemasangan filter pada bus Pontianak Inv dan gambar 4.15 merupakan kurva impedansi filter pada bus Samarinda Rec, dimana sesuai gambar kurva tersebut akan menghasilkan impedansi yang sangat rendah pada frekuensi 550 Hz dan 650 Hz sesuai dengan teori bahwa filter jenis *single tuned* akan menghasilkan impedansi yang rendah pada frekuensi tuningnya. Dan filter *high pass filter* tipe C akan mampu mereduksi harmonisa pada cakupan range yang besar terlihat dari gambar kurva dimana impedansi yang dihasilkan cukup rendah, sehingga akan mampu melewatkan arus harmonisa yang cukup besar



Gambar 4.16 Kurva Impedansi Bus Pontianak Inv Sebelum Dan Sesudah Difilter

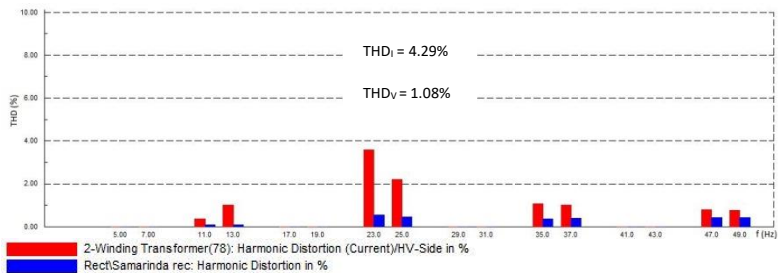
Gambar 4.16 merupakan kurva impedansi sistem kelisrikan Kalimantan Barat sebelum dan sesudah dipasang filter dan diukur pada Bus Pontianak Inv. Pada gambar tersebut menjelaskan dimana pengaruh pemasangan filter akan menyebabkan penurunan nilai impedansi sistem, dikarenakan filter sendiri sudah menghasilkan impedansinya sendiri dan mampu mengurangi impedansi sistem secara keseluruhan

4.2.2 Simulasi Harmonisa Setelah Penambahan Filter

Setelah semua filter terpasang dan dilakukan simulasi ulang untuk mengetahui nilai dari Harmonisa yang ada, dan berikut ini merupakan tabel dan indeks harmonisa berdasar hasil simulasi.

Tabel 4.7 Hasil Simulasi Harmonisa Terdistorsi

No	Nama Bus	Nom. kV	Indeks THD _V (%)	Indeks THD _I (%)
1	Samarinda Rec.	345	1.08	4.29
2	Banjarmasin Inv.	230	1.04	3.68
3	Banjarmasin Rec.	345	0.97	3.75
4	Sei Raya Inv.	230	0.86	3.18



Gambar 4.17 Spektrum Harmonisa Pada Bus Samarinda Rec

STF 11 Samarinda Rec							
Terminal .\Rect\Cub_0.1\Cub_1.StaCubic							
Shunt Type						R-L-C	
Vector Group						Y	
(550.00 Hz)				RMS			
Inductor Current		70.50 A		176.67 A			
Capacitance Current		70.50 A		176.67 A			
Losses Inductor		37.38 kW		234.78 kW			
f Hz	url p.u.	urp p.u.	uc p.u.	uc1 p.u.	IL [A]	IRp [A]	Ic [A]
50.00	0.009		1.008		161.70		161.70
250.00	0.000		0.000		0.00		0.00
350.00	0.000		0.000		0.00		0.00
550.00	0.040		0.040		70.50		70.50
650.00	0.003		0.002		4.64		4.64
850.00	0.000		0.000		0.00		0.00
950.00	0.000		0.000		0.00		0.00
1150.00	0.007		0.002		6.20		6.20
1250.00	0.006		0.001		4.31		4.31
1450.00	0.000		0.000		0.00		0.00
1550.00	0.000		0.000		0.00		0.00
1750.00	0.004		0.000		2.34		2.34
1850.00	0.004		0.000		2.21		2.21
2050.00	0.000		0.000		0.00		0.00
2150.00	0.000		0.000		0.00		0.00
2350.00	0.004		0.000		1.81		1.81
2450.00	0.004		0.000		1.75		1.75

Gambar 4.18 Hasil Simulasi Filter STF 11 Pada Bus Samarinda Rec

STF 13 Samarinda Rec							
Terminal .\Rect\Cub_0.2\Cub_1.StaCubic							
Shunt Type						R-L-C	
Vector Group						Y	
(550.00 Hz)				RMS			
Inductor Current		3.95 A		130.56 A			
Capacitance Current		3.95 A		130.56 A			
Losses Inductor		0.14 kW		151.24 kW			
f Hz	url p.u.	urp p.u.	uc p.u.	uc1 p.u.	IL [A]	IRp [A]	Ic [A]
50.00	0.006		1.005		115.72		115.72
250.00	0.000		0.000		0.00		0.00
350.00	0.000		0.000		0.00		0.00
550.00	0.002		0.003		3.95		3.95
650.00	0.040		0.040		59.57		59.57
850.00	0.000		0.000		0.00		0.00
950.00	0.000		0.000		0.00		0.00
1150.00	0.008		0.003		7.04		7.04
1250.00	0.006		0.002		4.77		4.77
1450.00	0.000		0.000		0.00		0.00
1550.00	0.000		0.000		0.00		0.00
1750.00	0.004		0.001		2.45		2.45
1850.00	0.004		0.001		2.30		2.30
2050.00	0.000		0.000		0.00		0.00
2150.00	0.000		0.000		0.00		0.00
2350.00	0.004		0.000		1.86		1.86
2450.00	0.005		0.000		1.79		1.79

Gambar 4.19 Hasil Simulasi Filter STF 13 Pada Bus Samarinda Rec

	C-HFF Samarinda Rec								
	Terminal .\Rect\Cub_0.3\Cub_1.StaCubic								
	Shunt Type						R-L-C1-C2,Rp		
	Vector Group						Y		

	(550.00 Hz)				RMS				
	Inductor Current		1.26 A		115.83 A				
	Capacitance Current		1.36 A		124.57 A				
	Par.Resistance Current		0.18 A		15.63 A				
	Losses Inductor		0.09 kW		723.50 kW				
	Losses Par. Resistance		0.03 kW		190.42 kW				

	f Hz	url p.u.	urp p.u.	uc2 p.u.	uc1 p.u.	IL [A]	IRp [A]	Ic [A]	

	50.00	0.010	0.010	0.999	0.002	108.07	7.48	115.54	
	250.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
	350.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
	550.00	0.000	0.000	0.001	0.000	1.26	0.18	1.36	1.36
	650.00	0.000	0.000	0.001	0.000	1.61	0.26	1.73	1.73
	850.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
	950.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
	1150.00	0.010	0.010	0.012	0.000	28.62	7.83	31.52	31.52
	1250.00	0.009	0.009	0.009	0.000	23.54	6.97	26.07	26.07
	1450.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
	1550.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
	1750.00	0.006	0.006	0.003	0.000	11.75	4.81	13.43	13.43
	1850.00	0.006	0.006	0.003	0.000	10.64	4.60	12.25	12.25
	2050.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
	2150.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
	2350.00	0.005	0.005	0.002	0.000	7.62	4.16	9.14	9.14
	2450.00	0.005	0.005	0.002	0.000	7.22	4.11	8.73	8.73

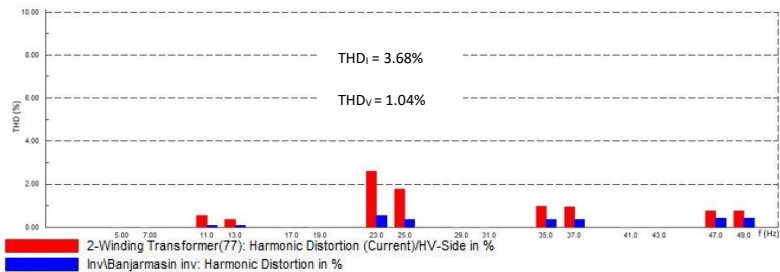
Gambar 4.20 Hasil Simulasi Filter Tipe C Pada Bus Samarinda Rec

Gambar 4.17 merupakan spektrum harmonisa pada bus Samarinda Rec, dari hasil tersebut dapat terlihat bahwa harmonisa pada orde 11 mengalami penurunan yang signifikan dimana sebelum adanya penambahan filter IHD_I orde 11 sebesar 9.1% dan setelah penambahan filter *single tuned filter* yang ditunning pada frekuensi 550 Hz besarnya IHD_I orde 11 menjadi 0.36 % dan dari gambar 4.18 terlihat dimana pada frekuensi 550 Hz filter menyerap arus paling besar, dikarenakan filter ditunning pada frekuensi tersebut sehingga impedansinya menjadi sangat kecil. Untuk IHD_V pada frekuensi tersebut juga mengalami penurunan indeks distorsi.

Untuk frekuensi harmonisa dominan yang selanjutnya pada frekuensi 650 Hz sebelum adanya filter indeks harmonisa IHD_I ialah sebesar 7.7% dan setelah adanya penambahan filter *single tuned filter* yang ditunning pada frekuensi 650 Hz besarnya indeks harmonisa menjadi 0.85% dan penurunannya cukup drastis. Pada gambar 4.19 dapat terlihat pada frekuensi 650 Hz arus yang melewati filter paling dominan diantara frekuensi yang lain dikarenakan memang filter

didesain untuk mereduksi harmonisa orde 13 sehingga filter menghasilkan impedansi rendah pada frekuensi tersebut.

Dan pada frekuensi lebih dari 1150 Hz peran filter tipe C disini akan berguna untuk mereduksi harmonisa pada jangkauan range yang besar. Pada gambar 4.20 terlihat bahwa filter tipe C akan melewatkan arus harmonisa pada frekuensi 1150 Hz, 1250 Hz, 1750 Hz, 1850 Hz, 2350 Hz, dan 2450 Hz sehingga wajar apabila sesuai pada gambar 4.20 adanya penurunan harmonisa pada frekuensi yang telah disebutkan diatas.



Gambar 4.21 Spektrum Harmonisa Pada Bus Banjarmasin Inv

STF 11 Banjarmasin Inv								
Terminal .\Inv\Cub_0.3\Cub_0.3.StaCubic								
Shunt Type						R-L-C		
Vector Group						Y		
(550.00 Hz)						RMS		
Inductor Current		99.79 A		256.86 A				
Capacitance Current		99.79 A		256.86 A				
Losses Inductor		34.23 kW		226.80 kW				
f	Hz	url p.u.	urp p.u.	uc p.u.	ucl p.u.	IL [A]	IRp [A]	Ic [A]
50.00	0.009			1.009		236.28		236.28
250.00	0.000			0.000		0.00		0.00
350.00	0.000			0.000		0.00		0.00
550.00	0.039			0.039		99.79		99.79
650.00	0.003			0.002		7.00		7.00
850.00	0.000			0.000		0.00		0.00
950.00	0.000			0.000		0.00		0.00
1150.00	0.007			0.002		8.97		8.97
1250.00	0.005			0.001		5.22		5.22
1450.00	0.000			0.000		0.00		0.00
1550.00	0.000			0.000		0.00		0.00
1750.00	0.004			0.000		3.35		3.35
1850.00	0.004			0.000		3.15		3.15
2050.00	0.000			0.000		0.00		0.00
2150.00	0.000			0.000		0.00		0.00
2350.00	0.004			0.000		2.65		2.65
2450.00	0.004			0.000		2.52		2.52

Gambar 4.22 Hasil Simulasi Filter STF 11 Pada Bus Banjarmasin Inv

STF 13 Banjarmasin Inv									
Terminal .\Inv\Cub_0.0\Cub_0.0.StaCubic									
Shunt Type							R-L-C		
Vector Group							Y		
(550.00 Hz)									
RMS									
Inductor Current			5.59 A		192.07 A				
Capacitance Current			5.59 A		192.07 A				
Losses Inductor			0.13 kW		149.55 kW				
f Hz	url p.u.	urp p.u.	uc p.u.	uc1 p.u.	IL [A]	IRp [A]	Ic [A]		
50.00	0.006		1.007		169.14		169.14		
250.00	0.000		0.000		0.00		0.00		
350.00	0.000		0.000		0.00		0.00		
550.00	0.002		0.003		5.59		5.59		
650.00	0.041		0.041		89.87		89.87		
850.00	0.000		0.000		0.00		0.00		
950.00	0.000		0.000		0.00		0.00		
1150.00	0.008		0.003		10.18		10.18		
1250.00	0.005		0.001		5.79		5.79		
1450.00	0.000		0.000		0.00		0.00		
1550.00	0.000		0.000		0.00		0.00		
1750.00	0.004		0.001		3.51		3.51		
1850.00	0.004		0.001		3.28		3.28		
2050.00	0.000		0.000		0.00		0.00		
2150.00	0.000		0.000		0.00		0.00		
2350.00	0.004		0.000		2.71		2.71		
2450.00	0.004		0.000		2.58		2.58		

Gambar 4.23 Hasil Simulasi Filter STF 13 Pada Bus Banjarmasin Inv

C-HPF Banjarmasin Inv									
Terminal .\Inv\Cub_0.1\Cub_0.1.StaCubic									
Shunt Type						R-L-C1-C2,Rp			
Vector Group						Y			
(550.00 Hz)						RMS			
Inductor Current		1.86 A		174.89 A					
Capacitance Current		1.96 A		184.08 A					
Par.Resistance Current		0.19 A		17.08 A					
Losses Inductor		0.08 kW		748.83 kW					
Losses Par. Resistance		0.02 kW		145.35 kW					
f	Hz	url p.u.	urp p.u.	uc2 p.u.	uc1 p.u.	IL [A]	IRp [A]	Ic [A]	
50.00	0.010	0.010	1.001	0.002	161.98	7.96	169.94		
250.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00		
350.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00		
550.00	0.000	0.000	0.001	0.000	1.86	0.19	1.96		
650.00	0.000	0.000	0.001	0.000	2.54	0.30	2.68		
850.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00		
950.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00		
1150.00	0.012	0.012	0.013	0.000	48.99	9.52	52.22		
1250.00	0.009	0.009	0.009	0.000	33.82	7.11	36.15		
1450.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00		
1550.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00		
1750.00	0.006	0.006	0.003	0.000	17.56	5.11	19.10		
1850.00	0.006	0.006	0.003	0.000	15.73	4.83	17.18		
2050.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00		
2150.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00		
2350.00	0.005	0.005	0.002	0.000	11.32	4.39	12.65		
2450.00	0.005	0.005	0.001	0.000	10.59	4.28	11.90		

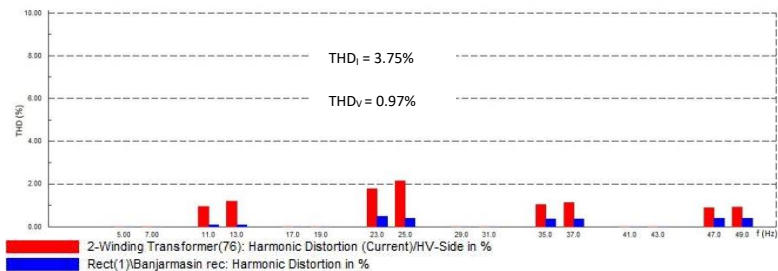
Gambar 4.24 Hasil Simulasi Filter Tipe C Pada Bus Banjarmasin Inv

Gambar 4.21 merupakan spektrum harmonisa pada bus Banjarmasin Inv, dari hasil tersebut dapat terlihat bahwa harmonisa pada orde 11 yang merupakan harmonisa paling dominan mengalami penurunan yang signifikan dimana sebelum adanya penambahan filter IHD_i orde 11 sebesar 9.1% dan setelah penambahan filter *single tuned filter* yang ditunning pada frekuensi 550 Hz besarnya IHD_i orde 11 menjadi 0.56 % dan dari gambar 4.22 yang merupakan simulasi dari filter *single tuned* pada bus Banjarmasin Inv terlihat dimana pada frekuensi 550 Hz filter menyerap arus paling besar dibandingkan dengan frekuensi lainnya, dikarenakan filter ditunning pada frekuensi tersebut sehingga impedansinya menjadi sangat kecil. Untuk IHD_v pada frekuensi tersebut juga mengalami penurunan indeks distorsi.

Untuk frekuensi harmonisa dominan yang selanjutnya pada frekuensi 650 Hz sebelum adanya filter indeks harmonisa IHD_i ialah sebesar 7.7% dan setelah adanya penambahan filter *single tuned filter* yang ditunning pada frekuensi 650 Hz besarnya indeks harmonisa menjadi 0.33% dan penurunannya cukup drastis. Pada gambar 4.23dapat

terlihat pada frekuensi 650 Hz arus yang melewati filter paling dominan diantara frekuensi yang lain dikarenakan memang filter didesain untuk mereduksi harmonisa orde 13 sehingga filter menghasilkan impedansi rendah pada frekuensi tersebut. Untuk IHD_V pada frekuensi tersebut juga mengalami penurunan indeks distorsi.

Dan pada frekuensi lebih dari 1150 Hz peran filter tipe C disini akan berguna untuk mereduksi harmonisa pada jangkauan range yang besar. Pada gambar 4.24 terlihat bahwa filter tipe C akan melewatkan arus harmonisa pada frekuensi 1150 Hz, 1250 Hz, 1750 Hz, 1850 Hz, 2350 Hz, dan 2450 Hz sehingga wajar apabila sesuai pada gambar 4.24 adanya penurunan harmonisa pada frekuensi yang telah disebutkan diatas.



Gambar 4.25 Spektrum Harmonisa Pada Bus Banjarmasin Rec

STF 11 Banjarmasin Rec								
Terminal .\Rect(1)\Cub_0.1\Cub_1.StaCubic								
Shunt Type							R-L-C	
Vector Group							Y	
				(550.00 Hz)		RMS		
Inductor Current				27.59 A		66.38 A		
Capacitance Current				27.59 A		66.39 A		
Losses Inductor				15.38 kW		89.03 kW		
f	Hz	url p.u.	urp p.u.	uc p.u.	ucl p.u.	IL [A]	IRp [A]	Ic [A]
50.00		0.009		1.009		60.30		60.30
250.00		0.000		0.000		0.00		0.00
350.00		0.000		0.000		0.00		0.00
550.00		0.042		0.042		27.59		27.59
650.00		0.003		0.002		1.52		1.52
850.00		0.000		0.000		0.00		0.00
950.00		0.000		0.000		0.00		0.00
1150.00		0.006		0.001		1.91		1.91
1250.00		0.005		0.001		1.48		1.48
1450.00		0.000		0.000		0.00		0.00
1550.00		0.000		0.000		0.00		0.00
1750.00		0.004		0.000		0.80		0.80
1850.00		0.004		0.000		0.77		0.77
2050.00		0.000		0.000		0.00		0.00
2150.00		0.000		0.000		0.00		0.00
2350.00		0.004		0.000		0.63		0.63
2450.00		0.004		0.000		0.60		0.60

Gambar 4.26 Hasil Simulasi Filter STF 11 Pada Bus Banjarmasin Rec

STF 13 Banjarmasin Rec							
Terminal .\Rect(1)\Cub_0.2\Cub_1.StaCubic							
Shunt Type							
Vector Group							
R-L-C							
Y							
(550.00 Hz)							
RMS							
Inductor Current		1.55 A		47.51 A			
Capacitance Current		1.55 A		47.51 A			
Losses Inductor		0.06 kW		53.77 kW			
f Hz	url p.u.	urp p.u.	uc p.u.	ucl p.u.	IL [A]	IRp [A]	Ic [A]
50.00	0.006		1.007		43.16		43.16
250.00	0.000		0.000		0.00		0.00
350.00	0.000		0.000		0.00		0.00
550.00	0.002		0.003		1.55		1.55
650.00	0.035		0.035		19.54		19.54
850.00	0.000		0.000		0.00		0.00
950.00	0.000		0.000		0.00		0.00
1150.00	0.007		0.002		2.17		2.17
1250.00	0.006		0.002		1.64		1.64
1450.00	0.000		0.000		0.00		0.00
1550.00	0.000		0.000		0.00		0.00
1750.00	0.004		0.001		0.84		0.84
1850.00	0.004		0.001		0.80		0.80
2050.00	0.000		0.000		0.00		0.00
2150.00	0.000		0.000		0.00		0.00
2350.00	0.004		0.000		0.65		0.65
2450.00	0.004		0.000		0.62		0.62

Gambar 4.27 Hasil Simulasi Filter STF 13 Pada Bus Banjarmasin Rec

	C-HPF Banjarmasin Rec							
	Terminal .\Rect(1)\Cub_0.3\Cub_1.StaCubic							
	Shunt Type						R-L-C1-C2,Rp	
	Vector Group						Y	

	(550.00 Hz)				RMS			
	Inductor Current				0.52 A	44.53 A		
	Capacitance Current				0.54 A	46.50 A		
	Par.Resistance Current				0.05 A	3.66 A		
	Losses Inductor				0.04 kW	287.11 kW		
	Losses Par. Resistance				0.01 kW	46.17 kW		

	f Hz	url p.u.	urp p.u.	uc2 p.u.	uc1 p.u.	IL [A]	IRp [A]	Ic [A]

	50.00	0.010	0.010	1.001	0.002	41.36	1.74	43.09
	250.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00
	350.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00
	550.00	0.000	0.000	0.001	0.000	0.52	0.05	0.54
	650.00	0.000	0.000	0.001	0.000	0.56	0.06	0.58
	850.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00
	950.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00
	1150.00	0.011	0.011	0.012	0.000	11.06	1.84	11.66
	1250.00	0.011	0.011	0.010	0.000	10.14	1.82	10.72
	1450.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00
	1550.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00
	1750.00	0.006	0.006	0.003	0.000	4.24	1.05	4.54
	1850.00	0.006	0.006	0.003	0.000	3.85	1.01	4.13
	2050.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00
	2150.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00
	2350.00	0.005	0.005	0.001	0.000	2.70	0.89	2.95
	2450.00	0.005	0.005	0.001	0.000	2.52	0.87	2.76

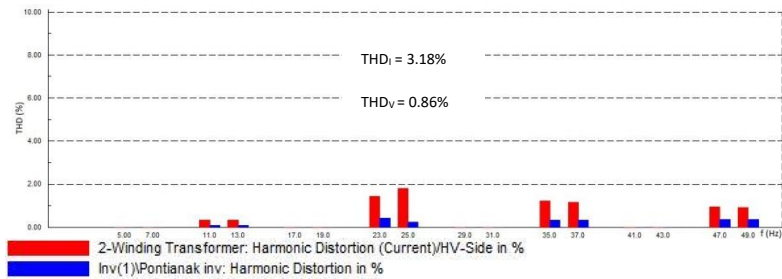
Gambar 4.28 Hasil Simulasi Filter Tipe C Pada Bus Banjarmasin Rec

Gambar 4.25 merupakan spektrum harmonisa pada bus Banjarmasin Rec, dari hasil tersebut dapat terlihat bahwa harmonisa pada orde 11 yang merupakan harmonisa paling dominan mengalami penurunan yang signifikan dimana sebelum adanya penambahan filter IHD_i orde 11 sebesar 9.1% dan setelah penambahan filter *single tuned filter* yang ditunning pada frekuensi 550 Hz besarnya IHD_i orde 11 menjadi 0.8 % dan dari gambar 4.26 yang merupakan simulasi dari filter *single tuned* pada bus Banjarmasin Rec terlihat dimana pada frekuensi 550 Hz filter menyerap arus paling besar dibandingkan dengan frekuensi lainnya, dikarenakan filter ditunning pada frekuensi tersebut sehingga impedansinya menjadi sangat kecil. Untuk IHD_v pada frekuensi tersebut juga mengalami penurunan indeks distorsi.

Untuk frekuensi harmonisa dominan yang selanjutnya pada frekuensi 650 Hz sebelum adanya filter indeks harmonisa IHD_i ialah sebesar 7.7% dan setelah adanya penambahan filter *single tuned filter* yang ditunning pada frekuensi 650 Hz besarnya indeks harmonisa menjadi 1.2% dan adanya penurunan pada indeks harmonisanya. Pada

gambar 4.27 dapat terlihat pada frekuensi 650 Hz arus yang melewati filter paling dominan diantara frekuensi yang lain dikarenakan memang filter didesain untuk mereduksi harmonisa orde 13 sehingga filter menghasilkan impedansi rendah pada frekuensi tersebut.Untuk IHD_v pada frekuensi tersebut juga mengalami penurunan indeks distorsi.

Dan pada frekuensi lebih dari 1150 Hz peran filter tipe C disini akan berguna untuk mereduksi harmonisa pada jangkauan range yang besar. Pada gambar 4.28 terlihat bahwa filter tipe C akan melewatkan arus harmonisa pada frekuensi 1150 Hz, 1250 Hz, 1750 Hz, 1850 Hz, 2350 Hz, dan 2450 Hz sehingga wajar apabila sesuai pada gambar 4.28 adanya penurunan harmonisa pada frekuensi yang telah disebutkan diatas.



Gambar 4.29 Spektrum Harmonisa Pada Bus Pontianak Inv

STF 11 Pontianak Inv									
Terminal .\Inv(1)\Cub_0.1\Cub_1.StaCubic									
Shunt Type							R-L-C		
Vector Group							Y		
(550.00 Hz)				RMS					
Inductor Current				38.64 A		96.94 A			
Capacitance Current				38.64 A		96.94 A			
Losses Inductor				13.64 kW		85.86 kW			
f Hz	url p.u.	urp p.u.	uc p.u.	ucl p.u.	IL [A]	IRp [A]	Ic [A]		
50.00	0.009		1.008		88.80		88.80		
250.00	0.000		0.000		0.00		0.00		
350.00	0.000		0.000		0.00		0.00		
550.00	0.040		0.040		38.64		38.64		
650.00	0.003		0.002		2.53		2.53		
850.00	0.000		0.000		0.00		0.00		
950.00	0.000		0.000		0.00		0.00		
1150.00	0.005		0.001		2.51		2.51		
1250.00	0.003		0.001		1.27		1.27		
1450.00	0.000		0.000		0.00		0.00		
1550.00	0.000		0.000		0.00		0.00		
1750.00	0.004		0.000		1.10		1.10		
1850.00	0.004		0.000		1.06		1.06		
2050.00	0.000		0.000		0.00		0.00		
2150.00	0.000		0.000		0.00		0.00		
2350.00	0.004		0.000		0.89		0.89		
2450.00	0.004		0.000		0.86		0.86		

Gambar 4.30 Hasil Simulasi Filter STF 11 Pada Bus Pontianak Inv

STF 13 Pontianak Inv							
Terminal .\Inv(1)\Cub_0.2\Cub_1.StaCubic							
Shunt Type						R-L-C	
Vector Group						Y	
				(550.00 Hz)		RMS	
Inductor Current				2.16 A		71.52 A	
Capacitance Current				2.16 A		71.52 A	
Losses Inductor				0.05 kW		55.11 kW	
f Hz	url p.u.	urp p.u.	uc p.u.	ucl p.u.	IL [A]	IRp [A]	Ic [A]
50.00	0.006		1.006		63.58		63.58
250.00	0.000		0.000		0.00		0.00
350.00	0.000		0.000		0.00		0.00
550.00	0.002		0.003		2.16		2.16
650.00	0.040		0.040		32.47		32.47
850.00	0.000		0.000		0.00		0.00
950.00	0.000		0.000		0.00		0.00
1150.00	0.006		0.002		2.85		2.85
1250.00	0.003		0.001		1.41		1.41
1450.00	0.000		0.000		0.00		0.00
1550.00	0.000		0.000		0.00		0.00
1750.00	0.004		0.001		1.15		1.15
1850.00	0.004		0.000		1.11		1.11
2050.00	0.000		0.000		0.00		0.00
2150.00	0.000		0.000		0.00		0.00
2350.00	0.004		0.000		0.92		0.92
2450.00	0.004		0.000		0.88		0.88

Gambar 4.31 Hasil Simulasi Filter STF 13 Pada Bus Pontianak Inv

	C-HPF Pontianak Inv								
	Terminal .\Inv(1)\Cub_0.3\Cub_1.StaCubic								
	Shunt Type						R-L-C1-C2,Rp		
	Vector Group						Y		

	(550.00 Hz)						RMS		
	Inductor Current						0.74 A 65.12 A		
	Capacitance Current						0.76 A 67.20 A		
	Par.Resistance Current						0.05 A 3.64 A		
	Losses Inductor						0.04 kW 277.64 kW		
	Losses Par. Resistance						0.00 kW 27.99 kW		

	f Hz	url p.u.	urp p.u.	uc2 p.u.	uc1 p.u.	IL [A]	IRp [A]	Ic [A]	

	50.00	0.010	0.010	1.000	0.002	61.56	1.91	63.47	
	250.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
	350.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
	550.00	0.000	0.000	0.001	0.000	0.74	0.05	0.76	
	650.00	0.000	0.000	0.001	0.000	0.95	0.07	0.98	
	850.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
	950.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
	1150.00	0.011	0.011	0.012	0.000	16.21	1.99	16.83	
	1250.00	0.007	0.007	0.006	0.000	9.70	1.29	10.08	
	1450.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
	1550.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
	1750.00	0.006	0.006	0.003	0.000	5.90	1.08	6.17	
	1850.00	0.006	0.006	0.002	0.000	5.39	1.04	5.65	
	2050.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
	2150.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
	2350.00	0.005	0.005	0.001	0.000	3.83	0.94	4.05	
	2450.00	0.005	0.005	0.001	0.000	3.62	0.92	3.85	

Gambar 4.32 Hasil Simulasi Filter Tipe C Pada Bus Pontianak Inv

Gambar 4.29 merupakan spektrum harmonisa pada bus Pontianak Inv, dari hasil tersebut dapat terlihat bahwa harmonisa pada orde 11 yang merupakan harmonisa paling dominan mengalami penurunan yang signifikan dimana sebelum adanya penambahan filter IHD_i orde 11 sebesar 9.1% dan setelah penambahan filter *single tuned filter* yang ditunning pada frekuensi 550 Hz besarnya IHD_i orde 11 menjadi 0.34 % dan dari gambar 4.30 yang merupakan simulasi dari filter *single tuned* pada bus Pontianak Inv terlihat dimana pada frekuensi 550 Hz filter menyerap arus paling besar dibandingkan dengan frekuensi lainnya, dikarenakan filter ditunning pada frekuensi tersebut sehingga impedansinya menjadi sangat kecil. Untuk IHD_v pada frekuensi tersebut juga mengalami penurunan indeks distorsi.

Untuk frekuensi harmonisa dominan yang selanjutnya pada frekuensi 650 Hz sebelum adanya filter indeks harmonisa IHD_i ialah sebesar 7.7% dan setelah adanya penambahan filter *single tuned filter* yang ditunning pada frekuensi 650 Hz besarnya indeks harmonisa menjadi 0.33% dan adanya penurunan pada indeks harmonisanya. Pada

gambar 4.31 dapat terlihat pada frekuensi 650 Hz arus yang melewati filter paling dominan diantara frekuensi yang lain dikarenakan memang filter didesain untuk mereduksi harmonisa orde 13 sehingga filter menghasilkan impedansi rendah pada frekuensi tersebut. Untuk I_{HDV} pada frekuensi tersebut juga mengalami penurunan indeks distorsi.

Dan pada frekuensi lebih dari 1150 Hz peran filter tipe C disini akan berguna untuk mereduksi harmonisa pada jangkauan range yang besar. Pada gambar 4.32 terlihat bahwa filter tipe C akan melewatkan arus harmonisa pada frekuensi 1150 Hz, 1250 Hz, 1750 Hz, 1850 Hz, 2350 Hz, dan 2450 Hz sehingga wajar apabila sesuai pada gambar 4.32 adanya penurunan harmonisa pada frekuensi yang telah disebutkan diatas.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 5

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

1. Dalam sistem transmisi HVDC memiliki keuntungan salah satunya mampu mensuplai daya aktif dengan kontinu seperti pada Konverter pada Bus Samarinda Rec mampu menyalurkan daya aktif sebesar 400 MW dan Bus Banjarmasin Rec sebesar 150 MW.
2. Kmpensasi daya reaktif yang diperlukan konverter pada bus Samarinda Rec sebesar 235 MVAR, Banjarmasin Inv 229 MVAR, Banjarmasin Rec 87.5 MVAR, dan Pontianak Inv 86 MVAR
3. Desain filter pasif *single tuned* dan *high pass filter* tipe C yang didesain pada frekuensi tuning 550 Hz, 650 Hz, dan 1200 Hz mampu mengurangi indeks level harmonisa yang awalnya belum sesuai standar IEEE std 519-1992 menjadi dibawah standar tersebut. Dimana pada Bus Samarinda Rec harmonisa tegangan menjadi 1,08, Banjarmasin Inv harmonisa tegangan menjadi 1,04, Banjarmasin Rec harmonisa tegangan menjadi 0.97, Pontianak Inv harmonisa tegangan menjadi 0.86

5.2 Saran

Sebagai saran untuk penrkembangan dan penelitian tentang peredaman distorsi harmonisa pada sistem transmisi dengan *backbone* dengan sistem DC, penulis dapat menyarankan.

1. Tugas akhir ini dapat digunakan sebagai perbandingan untuk sistem kelistrikan lainnya, karena pada kasus ini penulis menggunakan filter berjenis *single tuned* dan *high pass* tipe C.

Halaman ini sengaja dikosongkan

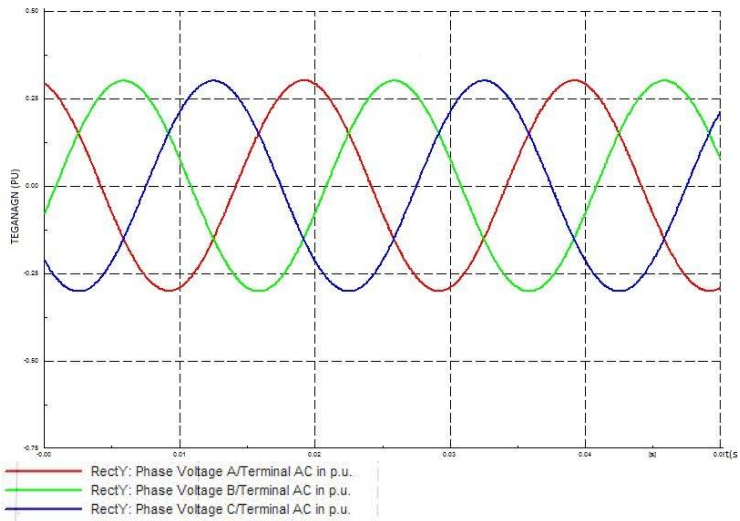
DAFTAR PUSTAKA

- [1] “[B] Power Sistem Stability and Control - P. Kundur [Part01].pdf.” .
- [2] “Power Flow Studies of an AC-DC.” .
- [3] J. C. Das, *Power sistem analysis: short-circuit load flow and harmonics*. New York: Marcel Dekker, 2002.
- [4] M. Fatkhurrohman, “Design Harmonic Passive Filter on Electrical Sistem of CPA Petrochina Tuban.” Jan-2015.
- [5] I. A. Shah, R. K. Ali, dan N. Khan, “Design of a C-type Passive Filter for Reducing Harmonic Distortion and Reactive Power Compensation,” vol. 4, no. 12, hlm. 10, 2016.
- [6] “RUPTL Regional Kalimantan.” PLN.
- [7] “11_chap3.pdf.” .
- [8] J. Arrillaga dan N. R. Watson, *Power sistem harmonics*, 2nd ed. West Sussex, England ; Hoboken, NJ: J. Wiley & Sons, 2003.

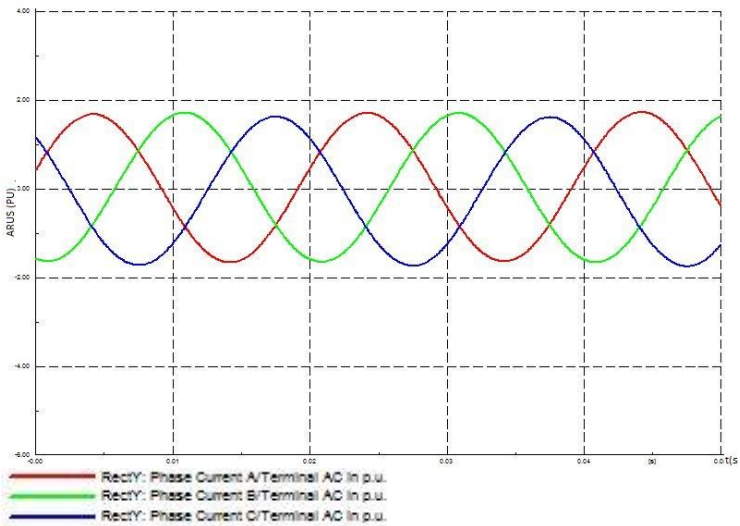
Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN

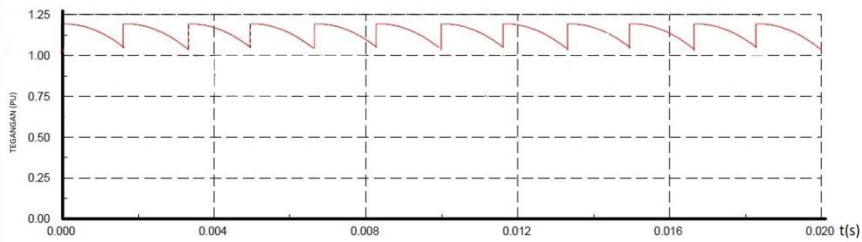
TEGANGAN SISI AC



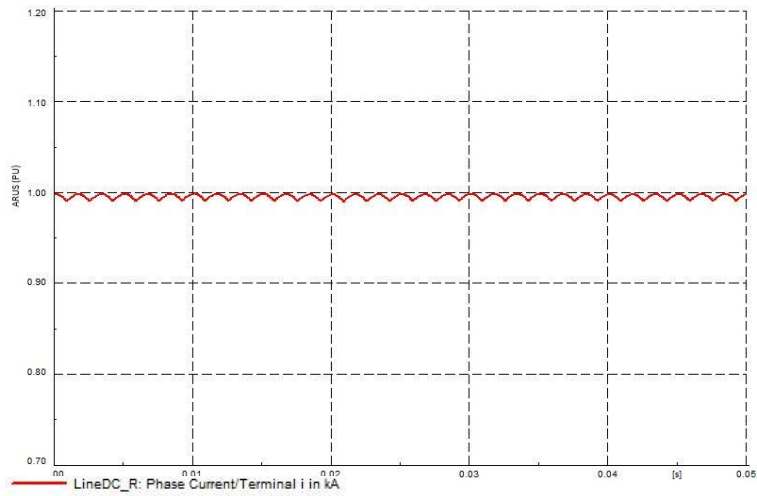
ARUS SISI AC



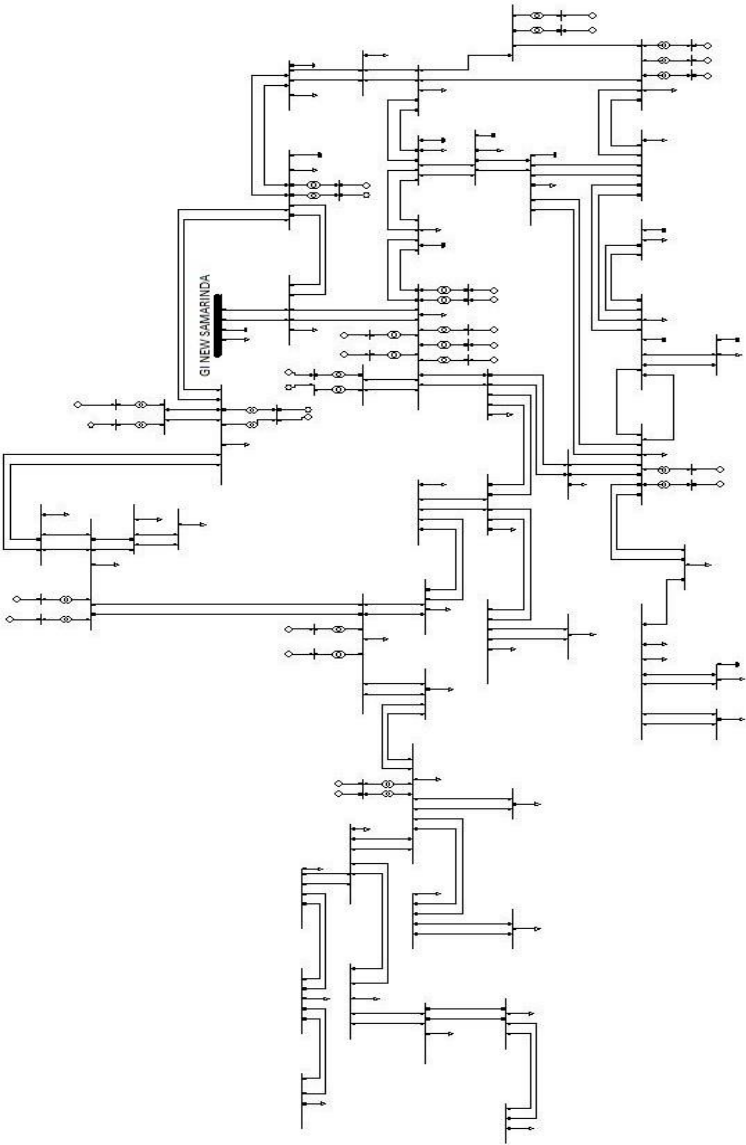
TEGANGAN SISI DC



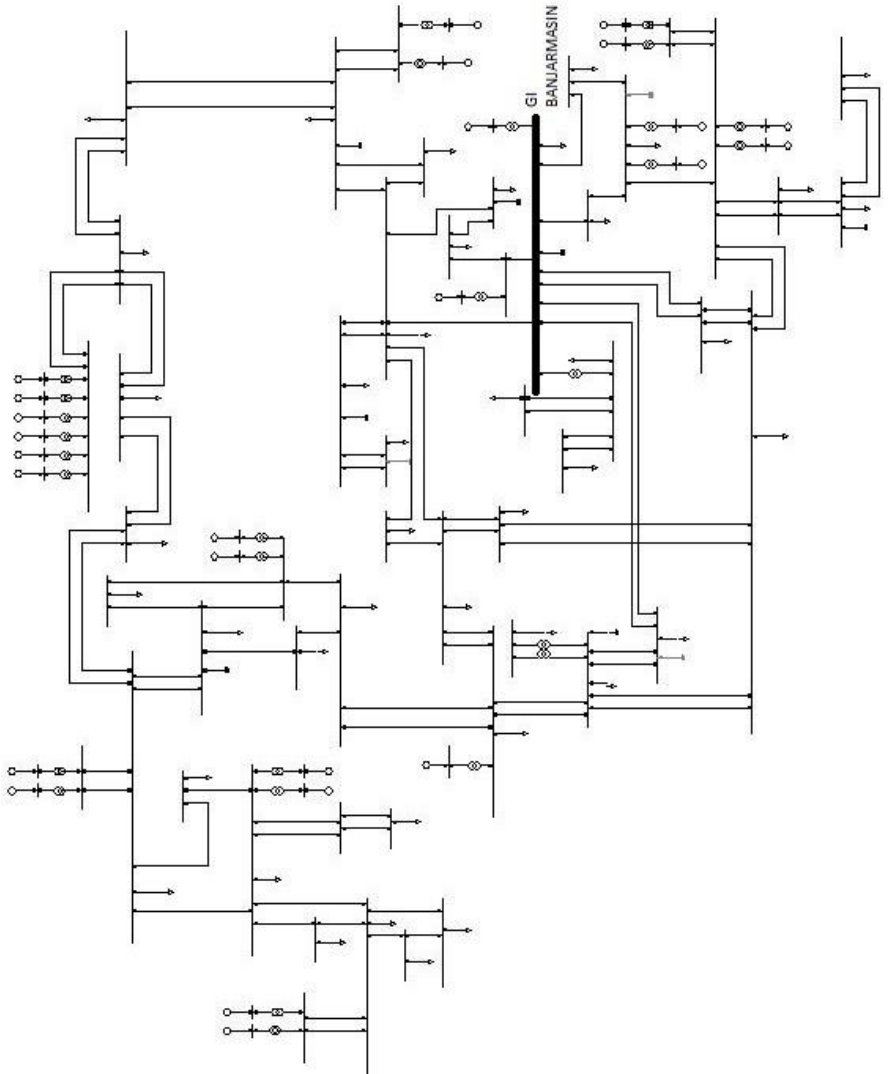
ARUS SISI DC



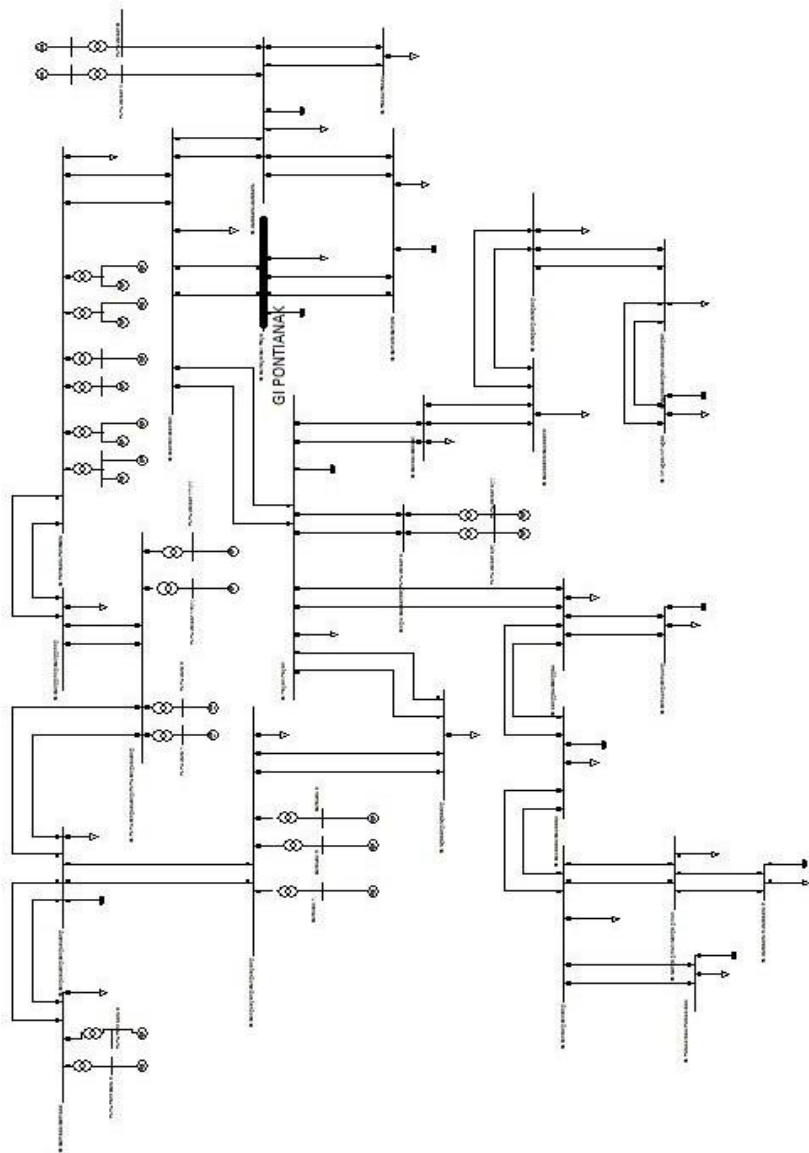
SISTEM KALIMANTAN TIMUR-UTARA



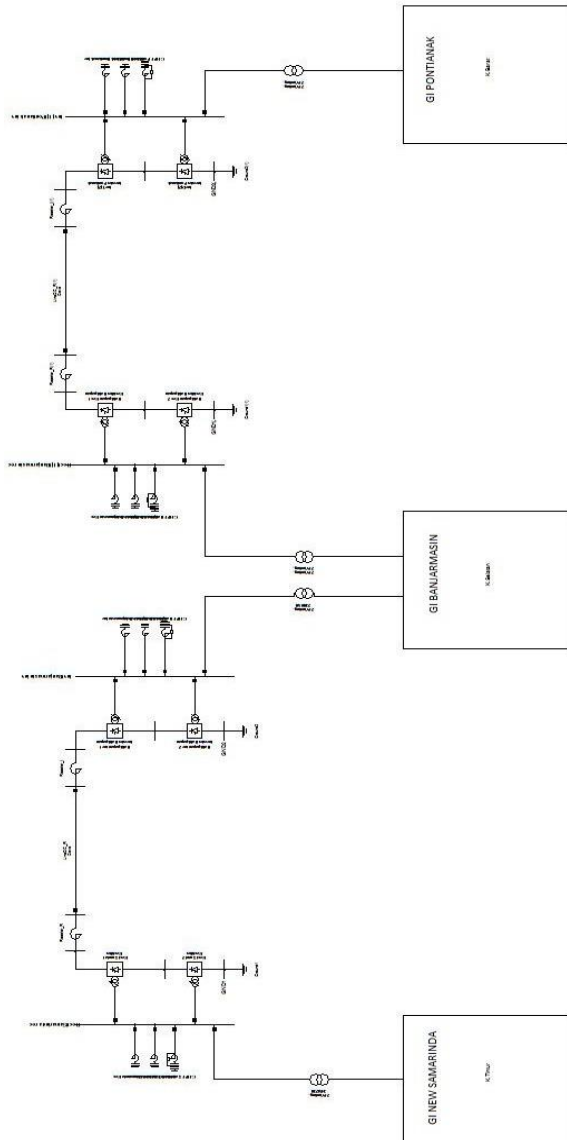
SISTEM KALIMANTAN SELATAN-TENGAH



SISTEM KALIMANTAN BARAT



\SISTEM INTERKONEKSI HVDC



BIODATA PENULIS



Azhaqqi Yakhya Lahir di Kebumen, 24 Februari 1996, merupakan anak pertama dari 3 bersaudara. Riwayat pendidikan pernah bersekolah di SDN 1 Pekutan, SMPN 1 Prembun, dan SMAN 1 Purworejo, dan saat ini masih mengenyam pendidikan di Teknik Elektro ITS. Penulis memiliki hobi untuk berolahraga khususnya lari, dan juga membaca buku selain buku pelajaran. Tentunya penulis berharap nantinya dalam perumusan tugas akhir ini mampu memberikan manfaat ke orang banyak dan tidak hanya berakhir pada sini saja akan tetapi terus mengalami pengembangan.